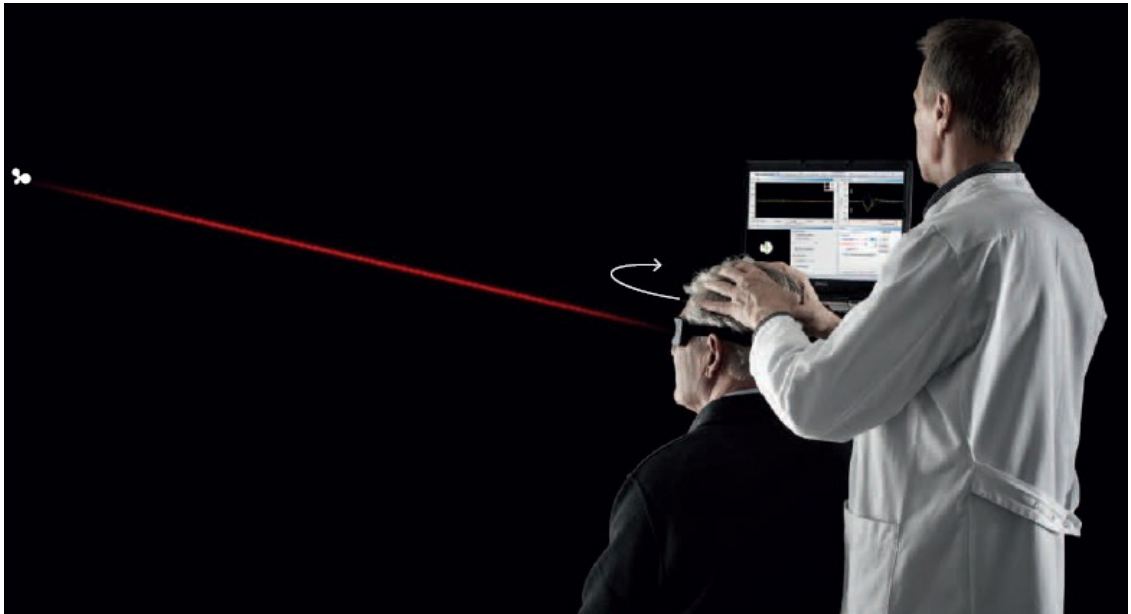


Laboratorní úloha měření vHIT

Laboratory Task of Measurement of vHIT



VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Zadání bakalářské práce

Student: **Daniel Franec**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3901R039 Biomedicínský technik
Téma: **Laboratorní úloha měření vHIT**
Laboratory Task of Measurement of vHIT
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem bakalářské práce bude popsat a provést měření pomocí vHIT (video Head Impulse Test). Tento nejmodernější přístroj pro vyšetření rovnováhy snímá funkci všech polokruhovitých kanálků vnitřních uší ve 3 rovinách. Student bude na bakalářské práci pracovat pod odborným vedením pracovníků Centra pro poruchy sluchu a rovnováhy.

1. Teoretická část bude zaměřená na anatomii a fyziologii rovnovážného ústrojí a možnosti vyšetření vestibulárního ústrojí.
2. V praktické části bude popsáno a prováděno měření pomocí vHIT.
3. Výsledky budou prezentovány v grafech a tabulkách.
4. V závěru bude provedeno zhodnocení výsledků práce a přínosu pro praxi.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] MRÁZKOVÁ, Eva. *Základy audiologie a metod objektivního vyšetření sluchu*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2006, 111 s. ISBN 80-248-1129-4.
- [2] AMBLER, Zdeněk a Jaroslav JEŘÁBEK. *Diferenciální diagnóza závratí*. 2. Praha: Triton, 2008, 229 s. ISBN 978-80-7387-127-7.
- [3] BALOH, Robert W. a Michael G. HALMAGYI. *Disorders of the Vestibular System*. Oxford: Oxford University Press, 1996, 687 s. ISBN 0195090063.
- [4] ZAPLATÍLEK, Karel. *MATLAB: začínáme s grafy 2D a 3D*. V Tribunu EU vyd. 1. Brno: Tribun EU, 2012, 50 s. ISBN 978-80-263-0237-7.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **MUDr. Eva Mrázková, Ph.D.**

Konzultant bakalářské práce: doc. RNDr. Jindřich Černohorský, CSc.

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne: 29. dubna 2016


.....

Podpis autora

Poděkování

Rád bych poděkoval mé vedoucí bakalářské práce, MUDr. Evě Mrázkové, Ph.D., za její odborný dohled a možnost spolupracovat s Centrem pro poruchy sluchu a rovnováhy polikliniky Apromed v Ostravě. Mé poděkování patří také mému konzultantovi, doc. RNDr. Jindřichu Černohorskému, CSc., za cenné rady a připomínky k této práci. Dále děkuji Mgr. Jakubu Šichnárkovi a Ing. Lubomíru Pučkovi za pomoc při generování dat přístrojem ICS Impulse® a koordinaci bakalářské práce.

Abstrakt

Video Head Impulse Test je nová metoda vyšetření rovnovážného systému, která vzhledem ke vzájemné provázanosti periferního vestibulárního aparátu a okohybného nervu umožňuje detekovat deficit všech šesti polokruhovitých kanálků orientovaných ve třech rovinách. Cílem této bakalářské práce je popsat a realizovat měření pomocí přístroje ICS Impulse[®], analyzovat získaná data a navrhnout řešení výstupního hodnocení tak, aby došlo k optimalizaci s požadavky klinické praxe. Za tímto účelem byly vytvořeny pravidla pro podrobně specifikující klasifikaci funkčního stavu jednotlivých polokruhovitých kanálků. Algoritmus nově navrženého hodnocení byl implementován do aplikace GainID, vyvinuté v programovacím jazyce C#. Výsledná data všech provedených měření byla podrobena analýze dle nově nastavených pravidel klasifikace polokruhovitých kanálků. Hlavním přínosem nového pojetí analýzy jsou přesnější a podrobnější podklady pro stanovení diagnózy a k ní navazujícímu přizpůsobení následného rehabilitačního procesu.

Klíčová slova: vestibulární systém, vestibulookulární reflex, polokruhovité kanálky, korekční sádky, Head Impulse Test, video Head Impulse Test, ICS Impulse

Abstract

Video Head Impulse Test is a new method of testing the balance system, which according to the interdependence of peripheral vestibular system and oculomotor nerve allows to detect deficits of all six semicircular canals, that are oriented in three planes. The aim of this thesis is to describe and implement measurement of using the device ICS Impulse[®], analyze data and suggest a solution of output assessment to optimize the requirements of clinical practice. For this purpose rules specifying in detail the classification of the functional state of individual semicircular canals were created. Algorithm of designed assessment is implemented into application GainID, developed in C# programme. The data of all measurements were subjected to analysis according to the new set of rules for semicircular canals classification. The main benefit of the new concept of analysis are accurate and detailed resources for the diagnosis and the follow-up adjustment of the subsequent rehabilitation process.

Keywords: vestibular system, vestibulo-ocular reflex, semicircular canals, corrective saccades, Head Impulse Test, video Head Impulse Test, ICS Impulse

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	- 10 -
Seznam tabulek	- 11 -
Seznam obrázků	- 12 -
1 Úvod.....	- 13 -
2 Anatomie a fyziologie sluchově – rovnovážného ústrojí.....	- 15 -
2.1 Anatomie sluchově – rovnovážného ústrojí.....	- 15 -
2.2 Fyziologie sluchově – rovnovážného ústrojí.....	- 17 -
2.2.1 Sluchový systém.....	- 17 -
2.2.2 Vestibulární systém.....	- 17 -
3 Vestibulární reflexy.....	- 19 -
3.1 Pohybové vestibulární reflexy.....	- 19 -
3.1.1 Rotační vestibulární reflexy	- 19 -
3.1.2 Lineární vestibulární reflexy	- 20 -
3.2 Polohové vestibulární reflexy	- 20 -
4 Poruchy vestibulárního ústrojí.....	- 21 -
4.1 Nystagmus.....	- 21 -
4.2 Poruchy rovnováhy	- 22 -
5 Vyšetření vestibulárního ústrojí	- 24 -
5.1 Vyšetření nystagmu.....	- 24 -
5.2 Vyšetření poruch rovnováhy	- 24 -
6 Head Impulse Test (HIT)	- 26 -
6.1 Princip vyšetření	- 26 -
6.1.1 Testování horizontálních polokruhovitých kanálků	- 26 -
6.1.2 Testování vertikálních polokruhovitých kanálků	- 26 -
6.1.3 Problematika rychlosti prováděných impulsů	- 27 -
6.1.4 Vyhodnocení testu.....	- 28 -
6.2 video Head Impulse Test (vHIT)	- 29 -
7 Praktická část.....	- 30 -
7.1 Brýle ICS Impulse®	- 31 -
7.1.1 Popis brýlí	- 31 -

7.1.2	Rozměry brýlí.....	- 31 -
7.1.3	Technické parametry přístroje.....	- 31 -
7.1.4	Parametry laseru.....	- 31 -
7.1.5	Minimální PC požadavky.....	- 32 -
7.2	Princip vyšetření vHIT	- 33 -
7.2.1	Doporučení pro pacienta před vyšetřením	- 33 -
7.2.2	Kontraindikace	- 33 -
7.2.3	Evidence pacienta.....	- 34 -
7.2.4	Příprava brýlí a prostoru pro vyšetření.....	- 34 -
7.2.5	Mnohotné testy.....	- 34 -
7.2.6	Detekce zorničky.....	- 35 -
7.2.7	Kalibrace	- 36 -
7.2.8	Nastavení testu	- 37 -
7.2.9	Vyšetření funkce horizontálních polokruhovitých kanálků	- 38 -
7.2.10	Vyšetření funkce vertikálních polokruhovitých kanálků	- 39 -
7.3	SW OTOsuite® Vestibular	- 40 -
7.3.1	Okno gain.....	- 42 -
7.3.2	Spontánní nystagmus	- 43 -
7.4	Analýza vHIT.....	- 44 -
7.4.1	Hodnotící algoritmus softwaru OTOsuite® Vestibular	- 44 -
7.4.2	Návrh analýzy dat	- 44 -
7.4.3	SW GainID.....	- 46 -
7.4.4	Měření vHIT.....	- 46 -
7.4.5	Výsledky testování.....	- 47 -
7.5	Nejčastější artefakty	- 49 -
7.5.1	Chybná detekce zorničky	- 49 -
7.5.2	Abnormální hodnoty gainu VOR.....	- 50 -
7.5.3	Překmit	- 51 -
7.5.4	Chybně stimulované roviny polokruhovitých kanálků	- 52 -
8	Závěr.....	- 53 -
9	Reference	
	Přílohy	

Seznam použitých zkratek a symbolů

HIT	–	Head Impulse Test
LARP	–	levý přední (LA), respektive pravý zadní (RP) polokruhovitý kanálek
RALP	–	pravý přední (RA), respektive levý zadní (LP) polokruhovitý kanálek
ROI	–	region of interest
VEMP	–	vestibulární evokované myogenní potenciály
vHIT	–	video Head Impulse Test
VOR	–	vestibulookulární reflex

Seznam tabulek

Tabulka 1: Členění horizontálních kanálků softwarem OTOsuite® Vestibular.	- 44 -
Tabulka 2: Členění vertikálních kanálků softwarem OTOsuite® Vestibular.	- 44 -
Tabulka 3: Rozdělení na segmenty pro horizontální kanálky.	- 45 -
Tabulka 4: Rozdělení na segmenty pro vertikální kanálky.	- 46 -
Tabulka 5: Gain VOR u testovaných pacientů.	- 47 -

Seznam obrázků

Obrázek 1: Anatomie sluchově – rovnovážného ústrojí	- 16 -
Obrázek 2: Systémy udržování rovnováhy	- 18 -
Obrázek 3: Kostěný labyrint	- 18 -
Obrázek 4: VOR.....	- 19 -
Obrázek 5: Základní typy nystagmu	- 22 -
Obrázek 6: Schéma vyšetření nystagmu	- 25 -
Obrázek 7: Testování funkce pravého laterálního polokruhovitého kanálku.....	- 26 -
Obrázek 8: LARP a RALP rovina vertikálních polokruhovitých kanálků.....	- 27 -
Obrázek 9: Činnost okohybného systému a VOR v závislosti na rychlosti stimulace.....	- 28 -
Obrázek 10: VOR u zdravé osoby a u osoby s jednostrannou vestibulární poruchou	- 29 -
Obrázek 11: Brýle ICS Impulse® firmy GN Otometrics.....	- 31 -
Obrázek 12: Správné uchopení hlavy během testování	- 33 -
Obrázek 13: Vyplnění formuláře nového pacienta	- 34 -
Obrázek 14: Volba Grayscale Image.	- 35 -
Obrázek 15: Volba Pupil Location.....	- 35 -
Obrázek 16: Záložka kalibrace.....	- 36 -
Obrázek 17: První krok kalibrace	- 37 -
Obrázek 18: Okno Real Time Trace – správně provedená kalibrace.....	- 37 -
Obrázek 19: Okno nastavení testu.....	- 38 -
Obrázek 20: Testování funkce pravého laterálního polokruhovitého kanálku.....	- 39 -
Obrázek 21: Záložka Collection.....	- 39 -
Obrázek 22: Návod softwaru pro nacentrování hlavy při LARP testování	- 40 -
Obrázek 23: 2D analýza	- 41 -
Obrázek 24: 3D analýza	- 41 -
Obrázek 25: Hexagram	- 42 -
Obrázek 26: Okno gain.	- 43 -
Obrázek 27: Ukázka spontánního nystagmu.....	- 44 -
Obrázek 28: Prostředí programu GainID.	- 46 -
Obrázek 29: Výsledky testování pacientky 1, vyhodnocené pomocí OTOSuite® Vestibular .	- 48 -
Obrázek 30: Vyhodnocení výsledků první pacientky programem GainID.....	- 48 -
Obrázek 31: Správná detekce zorničky.....	- 49 -
Obrázek 32: Špatná detekce zorničky.....	- 50 -
Obrázek 33: Abnormální hodnoty gainu VOR	- 50 -
Obrázek 34: Překmit	- 51 -
Obrázek 35: Správně provedený impuls hlavy	- 51 -
Obrázek 36: Stimulace v laterální a LARP/RALP rovině.....	- 52 -
Obrázek 37: Špatně provedený impuls hlavy.....	- 52 -

1 Úvod

Na zajištění rovnováhy se spolupodílejí polokruhovitě kanálky vnitřního ucha. Jedná se o složitý systém, který vyžaduje specifické požadavky na vyšetření. Komplexní vyhodnocení stavu periferního vestibulárního aparátu bylo v minulosti, vzhledem ke složitosti a minimálním technickým možnostem, velice obtížně realizovatelné. Vyšetření s sebou nesla velkou míru subjektivity. Postupný rozvoj lékařské přístrojové techniky umožnil stále přesněji hledat příčiny poruch rovnováhy.

S neustále přibývajícím počtem těchto poruch v populaci narůstal požadavek neinvazivního vyšetření, které by umožňovalo rychlým a objektivním způsobem vyhodnotit funkční stav všech šesti polokruhovitých kanálků. Následující text se věnuje inovativní metodě vyšetření video Head Impulse Test, která využívá vzájemné provázanosti vestibulárního a zrakového systému prostřednictvím tzv. vestibulookulárního reflexu. Tento reflex, řadící se mezi pohybové vestibulární reflexy, je zodpovědný za udržení stabilního obrazu na sítnici při pohybu hlavy. Z tohoto důvodu je v teoretické části této práce, kromě anatomie a fyziologie zaměřené na sluchově – rovnovážné ústrojí, věnována celá jedna kapitola vestibulárním reflexům. Vyšetření video Head Impulse Test je realizováno pomocí speciálních brýlí, jejichž součástí je vysoko-rychlostní kamera, jež dokáže objektivně odhalit tzv. korekční sádky (rychlé oční pohyby) testováním ve třech rovinách polokruhovitých kanálků. Propojení s přehledným softwarem v počítači nabízí lékařům nový rozměr pohledu na činnost periferního vestibulárního aparátu. Přínosná je především svými minimálními prostorovými nároky a zachováním komfortu vyšetření pro pacienty. Jde o neinvazivní metodu, která nabízí výraznou časovou úsporu. To vše s plnohodnotným datovým výstupem, jenž umožňuje sledovat progres úspěšnosti nastavené léčby. K pochopení principu a významu této metody testování polokruhovitých kanálků je nezbytná znalost metody Head Impulse Test, ze které toto vyšetření vychází. V práci je proto původní metodě, bez použití techniky, vyhrazen patřičný prostor. Metoda Head Impulse Test, kterou v roce 1988 popsali Dr. Ian Curthoys a Dr. Michael Halmagyi, čelila kritice pro svou přílišnou subjektivitu. Ukázala však cestu pro vyšetření všech šesti polokruhovitých kanálků. První krok s využitím techniky, a tedy i žádoucí objektivizaci, přinesla metoda scleral search coil a záhy se stala zlatým standardem měření vysokých rychlostí pohybu oka. Přes úvodní revoluci v této oblasti se stále více projevovaly nedostatky této metody, založené na vyšetření pomocí speciálních kontaktních čoček. Především invazivnost a velmi vysoké náklady. Bylo zřejmé, že potřebná metoda, která by snímala pohyb hlavy i pohyb očí, musí splňovat požadavky klinických prostor i patientského komfortu. Jako ideální se jevila možnost využití brýlí s vestavěnou kamerou, gyroskopy a akcelerometry. První takovéto brýle, snímající obě oči, spatřily světlo světa v roce 2004. Problém spočíval v jejich nadměrné váze a nestabilní poloze vůči hlavě. V následujících letech se upustilo od snímání obou očí, brýle se s dalšími technickými možnostmi začaly zmenšovat a váha klesala až na současných 60 gramů.

Práce uceleně charakterizuje všechny části vyšetření, od přípravy měřicího přístroje, až po analýzu výstupních dat. Ta je součástí realizovaného měření metodou video Head Impulse Test u vzorku pacientů, s následným zhodnocením dosažených výsledků. Na základě požadavků klinické praxe, týkající se zejména problematiky omezené interpretovatelnosti funkčního stavu jednotlivých polokruhovitých kanálků, byly vytvořeny klasifikační meze, umožňující konkrétní

nější posouzení případného deficitu. Rozbor a zdůvodnění nastavených pravidel klasifikace jsou popsány v kapitole 7.4. Jako doplňková součást analýzy dat byla do praktické části zahrnuta také aplikace, nazvaná GainID, vyvinutá v programovacím jazyce C#. Pracuje s naprogramovaným algoritmem podle navrženého hodnocení polokruhovitých kanálků a slouží tak především k účelům této práce. Samostatná kapitola je vyhrazena pro artefakty, vyvolané nedostatečnou přípravou přístroje před vyšetřením či chybně prováděným testováním. Součástí práce je také laboratorní úloha, připravená pro studenty zdravotnických oborů.

Tuto bakalářskou práci jsem zpracoval ve spolupráci s Centrem pro poruchy sluchu a rovnováhy polikliniky Apromed. Hlavním podnětem k bližšímu zájmu o metodu video Head Impulse Test byla má účast na stáži na zmíněném pracovišti. Zaujala mne především svým významným přínosem pro diagnostiku poruch rovnováhy a skutečností, že byla do klinické praxe uvedena teprve nedávno. Přístroj ICS Impulse® firmy GN Otometrics byl pořízen v rámci výzkumného projektu Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, Ostravské univerzity a Masarykovy univerzity v Brně. V době mé stáže byla Ostrava v rámci České republiky prvním místem, kde se metodou video Head Impulse Test začalo vyšetřovat. Došlo tak k propojení mého zájmu o medicínskou oblast ORL s inovativní technologií, nově se uplatňující v tomto lékařském oboru.

2 Anatomie a fyziologie sluchově – rovnovážného ústrojí

2.1 Anatomie sluchově – rovnovážného ústrojí

Ucho (auris) je receptorový orgán, jakožto jednotka sluchu a rovnováhy, který je rozdělen na tři základní segmenty: zevní ucho, střední ucho a vnitřní ucho. Těmito segmenty jsou navzájemně přijímány jednotlivé podněty, ať už zvukové nebo pro orientaci v prostoru. V této subsekcí byla použita literatura: [1, 2, 27].

Zevní ucho

Zevní ucho (auris externa) se skládá z boltce a zevního zvukovodu.

Boltec ušní (auricula) je výběžek skořápkovitého tvaru, jedná se o okolní část vývodu zevního zvukovodu. Podklad boltce je tvořen elasticou chrupavkou cartilago auriculae.

Zevní zvukovod (meatus acusticus externus) se skládá z krátkého trubicovitého útvaru, který je ukončen ušním bubínkem (membrana tympani), rozdělující zevní a střední ucho.

Střední ucho

Hlavní strukturou středního ucha (auris media) je středoušní dutina (cavum tympani), uložená ve skalní kosti. Střední ucho je propojeno s nosohltanem pomocí Eustachovy trubice (tuba pharyngotympanica) o délce 4 cm. Ve středoušní dutině se nalézají tři sluchové kůstky: kladívko (malleus), kovádlinka (incus) a třmínek (stapes). Všechny jsou na sebe bezprostředně navázány. Jejich význam spočívá v přenosu a zesílení zvukových vibrací.

Vnitřní ucho

Vnitřní ucho (auris interna) je uloženo v pyramidě kosti skalní. Zahrnuje dva hlavní úseky: kostěný a blanitý labyrint.

Kostěný labyrint (labyrinthus osseus) tvoří dutina nacházející se v kosti skalní. Základními sektory jsou polokruhové kanálky (canales semicirculares ossei), předsíň (vestibulum) a hlemýžď (cochlea). Vnitřní plocha je vyplněna perilymfou.

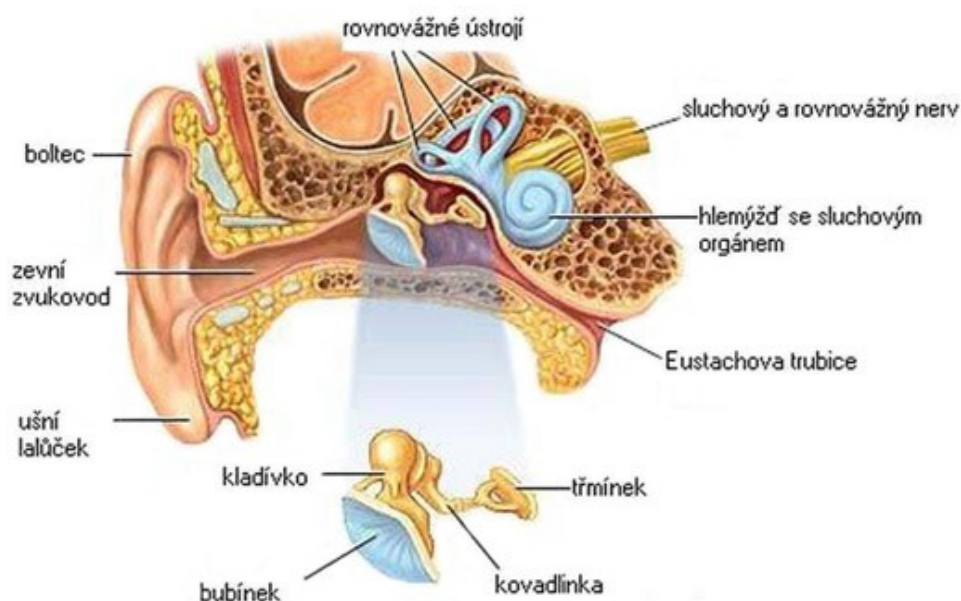
Blanitý labyrint (labyrinthus membranaceus) je součástí kostěného labyrintu, kde je systém váčků a kanálků. Vnitřní struktura labyrintu obsahuje endolymfu. Hlavními částmi jsou: blanité polokruhové chodbičky (ductus semicirculares), vejčitý a kulovitý váček (utricle a sacculus), blanitý hlemýžď (cochlea).

Základní části kostěného a blanitého labyrintu:

Labyrinthus vestibularis je dutina kostěného labyrintu. Její součástí je vejčitý (utricle) a kulovitý váček (sacculus).

Tři polokruhové kanálky (canales semicirculares ossei) náleží ke kostěnému labyrintu a vykazují vzájemnou kolmost. Canalis semicircularis anterior se vyklenuje nahoru, kolmo na podélnou osu pyramid. Canalis semicircularis posterior se vyklenuje dozadu, rovnoběžně s podélnou osou pyramid, ale o etáž níž než canalis anterior. Canalis semicircularis lateralis se vyklenuje laterálně, ve výši mezi horním a zadním kanálkem. Součástí každého polokruhovitěho kanálku jsou blanité polokruhové kanálky (ductus semicirculares). Konkrétně se jedná o ductus semicircularis anterior, posterior et lateralis.

Labyrinthus cochlearis se nachází v kostěném labyrintu. Součástí je blanitý hlemýžď a k němu navazující receptor sluchu, Cortiho orgán (organum Corti).



Obrázek 1: Anatomie sluchově – rovnovážného ústrojí [3]

VIII. Nervus vestibulocochlearis

Sluchově rovnovážný nerv se dělí na dvě základní složky: sluchový nerv (nervus vestibularis) a rovnovážný nerv (nervus cochlearis). Sluchový nerv obsahuje dvě jádra: nucleus cochlearis posterior a nucleus cochlearis anterior. Ke čtyřem jádrům rovnovážného nervu patří: nucleus vestibularis medialis, lateralis, superior, inferior. Buňky vestibulárních jader přijímají signály z vnitřního ucha a vedou je k míšním motoneuronům, mozečku, jádrům okohybných nervů a thalamu. Nucleus vestibularis superior vede signály z vejčitého váčku a předního a bočního polokruhovitěho kanálku. Nucleus vestibularis inferior inervuje zadní polokruhovitý kanálek a kulovitý váček.

2.2 Fyziologie sluchově – rovnovážného ústrojí

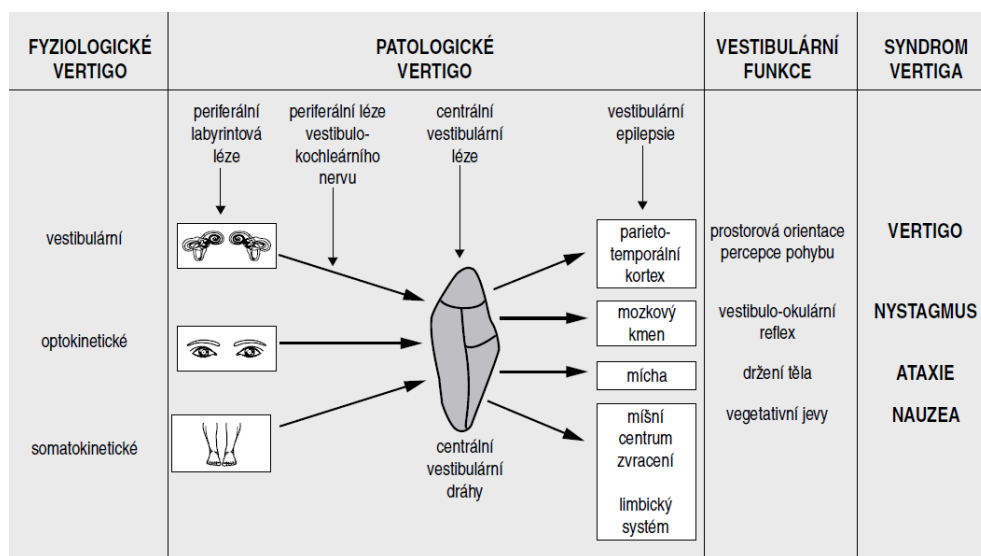
2.2.1 Sluchový systém

Zvukové vlny, dopadající na ušní boltec, jsou pomocí zvukovodu vedeny k membráně bubínku. Ve středním uchu je zvuk, vyznačující se určitou frekvencí, přenášen na membránu oválného okénka třemi středoušními kůstkami. Jedná se o kladívko, kovádlínku a třmínek. Při velmi silném přichozím zvuku se uplatňuje tzv. akustický reflex, který je zajišťován dvěma kosterními svaly, napínajícími membránu bubínku a oválného okénka. Stáhnutím obou svalů je zabráněno poškození výše zmíněných středoušních kůstek. Do středního ucha ústí Eustachova trubice, která ve spojení s hltanem vyrovnává tlak středního ucha v závislosti na atmosférickém tlaku. Signál, obsahující informaci o parametrech přichozích zvukových vln, je z oválného okénka zaveden pomocí perilymfy a následně endolymfy až na bazilární membránu. Vlásokové buňky Cortiho orgánu, vyskytující se na této membráně, jsou při adekvátním podnětu podrážděny. Signál je předán sluchovému nervu, který jej zprostředkuje mozku [4–6].

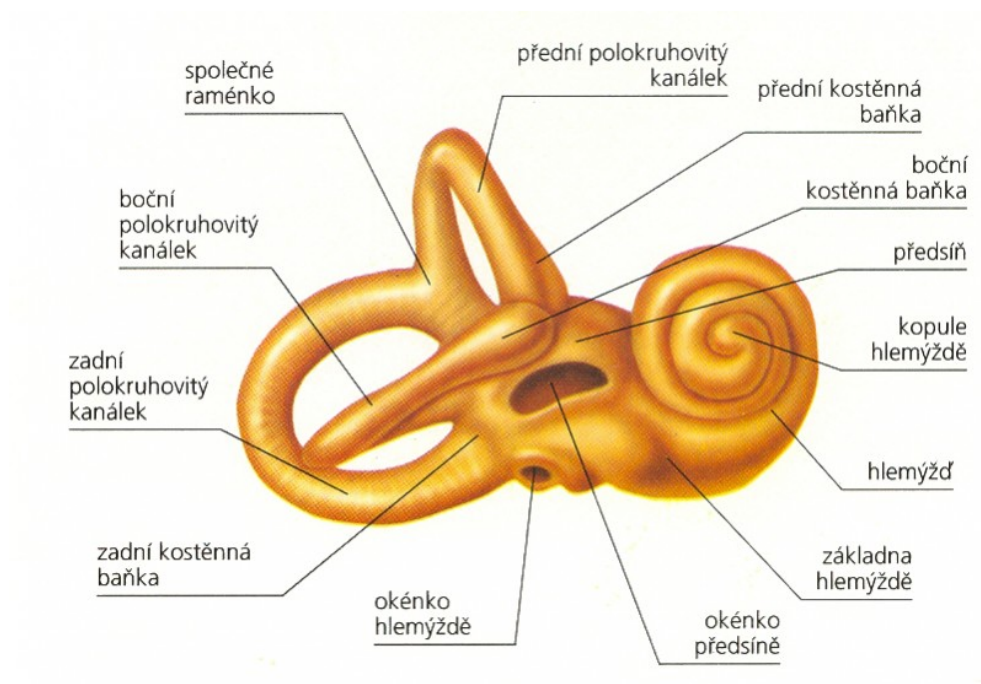
2.2.2 Vestibulární systém

Rovnováha je komplexním dějem, který funguje na základě informací získaných ze tří vstupů: zrakového, vestibulárního a somatosenzorického. Úkolem příslušných nervů je přenos signálů z těchto tří vstupů do center pro následné zpracování, primárně jde o oblast vestibulárních jader mozkového kmene a mozečku. Tento systém má dvě základní funkce. Zprvu udržení stabilního obrazu na sítnici při pohybu, což je označováno jako tzv. dynamická zraková ostrost, druhou funkcí je regulace stoje a chůze [24, 25].

Kompenzační pohyby očí jsou zajišťovány motoneurony mozkového kmene. S těmito pohyby souvisí také pojem nystagmus, což je oční pohyb, způsobený drážděním receptorů v polokruhovitých kanálcích. Kanálky zaznamenávají úhlové zrychlení hlavy. To je založeno na změnách membránového potenciálu receptorových buněk, závisícího na pohybu endolymfy uvnitř polokruhovitých kanálků při rotaci hlavy. Buňky otolitových orgánů vyhodnocují lineární zrychlení a polohu hlavy vzhledem ke gravitaci. Detekce závisí na rosolovité hmotě, která způsobuje změnu membránového potenciálu buněk. Vejčitý váček určuje pohyb v horizontální rovině, kdežto kulovitý váček ve vertikální rovině [4–6].



Obrázek 2: Systémy udržování rovnováhy [25]



Obrázek 3: Kostěný labyrint [7]

3 Vestibulární reflexy

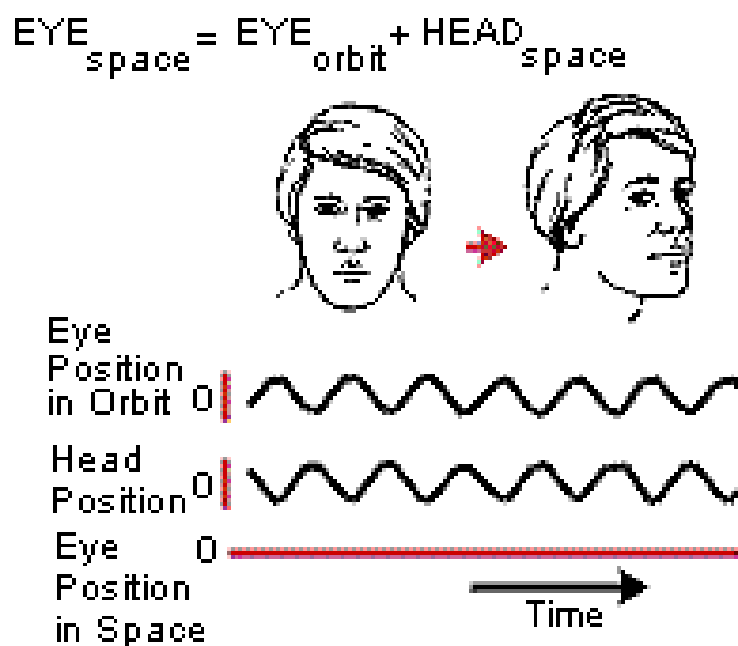
3.1 Pohybové vestibulární reflexy

3.1.1 Rotační vestibulární reflexy

Polokruhovitě kanálky jsou rozděleny do třech rovin, přičemž každá z nich vykazuje vlastní druh odpovědi. Rotační vestibulární reflexy závisí na setrvačnosti endolymfy v kanálcích. V kapitole 3 byly použity zdroje: [4, 8–10, 12].

Vestibulookulární reflex (VOR)

Jde o oční pohyb, který kompenzuje současný pohyb hlavy. Závisí na propojení polokruhovitých kanálků, které vysílají signál s okohybným nervem. Tato součinnost probíhá se zpožděním očního pohybu činícím přibližně 16 ms. Při rotaci hlavy do stran tak zůstává obraz oka neustále ostrý. Během krátkých pohybů hlavy probíhají tyto kompenzační oční pohyby správně, bez mechanických omezení oční rotace. Nicméně, během velké amplitudy pohybu hlavy může oko dosáhnout limitu svého dosahu před dokončením otočení hlavy. V tomto případě vždy, když oko dosáhne extrémní polohy, tak se rychlým kmitem dostane zpátky do nové startovní pozice. Z této nové polohy potom oko pokračuje v dalším cyklu kompenzačního pohybu. Při tomto delším otáčení hlavy vzniká tzv. vestibulární nystagmus.



Obrázek 4: VOR [9]

Optokinetický reflex

Je založen na detekci změn v zorném poli oka. Spolupracuje s vestibulookulárním reflexem (dále VOR) při rozsáhlejší rotaci hlavy. Zpoždění se pohybuje kolem 75 ms. Jsou rozlišeny dvě fáze optokinetické reakce očí. První fáze zahrnuje jemnou kompenzaci zorného pole, druhá značí trhavý pohyb na nový fixní bod, pokud je překročena určitá mez rotace hlavy.

3.1.2 Lineární vestibulární reflexy

Vyznačují se flexním držením při lokomoci vzhůru a extenčním držením při pohybu dolů. Reakce se z hlediska pohybu a zastavení chovají obráceně. Řadí se mezi ně střemhlavý a Moirův reflex.

3.2 Polohové vestibulární reflexy

Jejich význam spočívá v ovlivnění celkového držení těla v závislosti na poloze hlavy.

Labyrintový polohový reflex hlavy

Zajišťuje vzpřímené držení hlavy a ústa se spojnicemi očí ve vodorovné poloze.

Labyrintový tonický reflex

Udržuje vzpřímený postoj v klidové poloze.

4 Poruchy vestibulárního ústrojí

Při poruše jednoho ze vstupů somatosenzorického systému dochází k manifestní poruše. Projevy jsou rozděleny na nystagmus a poruchy stability. V této kapitole byly informace čerpány z následujících pramenů: [13, 15–19, 21, 23].

4.1 Nystagmus

Jedná se o jednotný, trhavý pohyb očních bulbů. Vzniká v situaci, kdy je člověk či sledovaný předmět v pohybu.

Klasifikace nystagmu

Dle příčiny

Fyziologický – optokinetický, rotační, únavový

Patologický – při postižení oka, středouší, vnitřního ucha, vestibulokochleárního nervu, mostomozekového koutu, mozkového kmene, mozečku, mozku.

Polohový – na pomezí patologického a fyziologického, závislý na poloze hlavy a ve většině případů je souvislost se závratí.

Kongenitální – u vrozených chorob oka či optického nervu a nebo je vrozená příčina neznámá.

Dále může být nystagmus klasifikován podle **směru konvergence** (vzhůru, dolů, doprava, doleva), **formy nystagmu** (rotační, vertikální, horizontální, smíšený), **pohybu obou očních bulbů** (asociovaný, disociovaný), **frekvence** (pomalý do 40 kmitů/min., střední mezi 40–100 kmitů/min., rychlý nad 100 kmitů/min.), **trvání** (záchvatovitý, přechodný, trvalý), **amplitudy** (jemný, střední, hrubý).

Spontánní vestibulární nystagmus se vyznačuje jako objektivní projev iritační nebo destrukční léze ve vestibulárním systému.

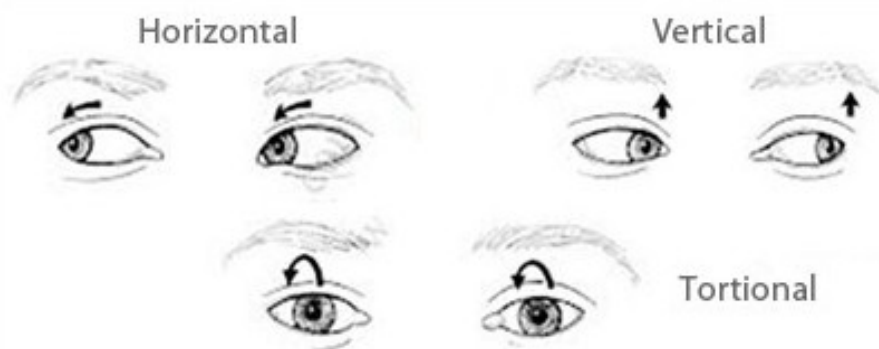
Jsou rozlišeny tři stupně intenzity spontánního nystagmu:

Nystagmus I. stupně – vyskytuje se při pohledu ve směru na stranu rychlé složky

Nystagmus II. stupně – je přítomný při přímém pohledu i pohledu na stranu rychlé složky

Nystagmus III. stupně – je určen jak při pohledu přímém, tak i ve směru jeho pomalé složky

Semispontánní nystagmus (provokovaný) je zařazen mezi patologické, vestibulární jevy, vznikající v rámci příslušného podnětu, jakým může být např. potřásání či rotace hlavy.



Obrázek 5: Základní typy nystagmu [46]

Podle složky se nystagmus dělí na rychlou a pomalou. Rychlá určuje směr nystagmu a vrací bulby do střední polohy, kdežto pomalá složka je označována jako vlastní projev porušení rovnováhy. Dále je nystagmus rozdělován na asociovaný (shodný pohyb bulbů) a disociovaný (odlišný pohyb bulbů).

4.2 Poruchy rovnováhy

Jsou výsledkem snížené schopnosti vnímat prostor a pohybovat se v něm. Primárně jsou rozlišovány poruchy v rámci periferních a centrálních závratí.

Centrální závrat'

Vzniká v důsledku narušené funkce mozečku a mozkového kmene. Komplexně je užíván pojem centrální vestibulární syndrom. Mezi možné příčiny patří například nádory, záněty nebo nedostatečné krevní zásobení.

Periferní závrat'

Příčinou je postižení v oblasti periferního vestibulárního aparátu, souhrnně označováno jako periferní vestibulární syndrom.

Některé druhy vestibulárních závratí

Benigní paroxysmální polohové vertigo

Závrat' je vyvolána změnou polohy těla, v důsledku poruchy zadního, méně často předního či laterálního polokruhovitého kanálku.

Meniérova choroba

Postižení vnitřního ucha, projevující se poruchami sluchu, tinnitem a orientace v prostoru.

Zánět vnitřního ucha (labyrinthitis)

Přenos virové nebo bakteriální infekce ze středního do vnitřního ucha nebo zánětu mozkových blan do vnitřního ucha.

Zánět vestibulárního nervu (neuronitis vestibularis)

Je doprovázen silným vertigem obvykle rotačního charakteru.

Perilymfatická píštěl

Vestibulární porucha projevující se závratěmi a sluchovým deficitem.

Kraniotraumata

Úrazy hlavy podle poškození periferní či centrální oblasti.

Toxické poškození vnitřního ucha

Proniknutí léčiv do nitroušních tekutin.

5 Vyšetření vestibulárního ústrojí

5.1 Vyšetření nystagmu

Očitým pozorováním

Vyšetření je založeno na sledování pevného bodu (prst vyšetřujícího) pacientem. Fixní bod je lékařem pohybován do čtyř stran tak, aby byl neustále v zorném poli pacienta. Pohyb očí pacienta je pozorně sledován lékařem, středem zájmu je především symetričnost, pomalá a rychlá složka, směr rychlé složky nebo poloha oka s nejvýznamnějším nystagmem. Tento postup je využíván při vyšetření spontánního nystagmu. Pro vyšetření jak spontánního, tak experimentálního nystagmu je využívána metoda pomocí Frenzelových nebo Bartlesových brýlí [14, 20].

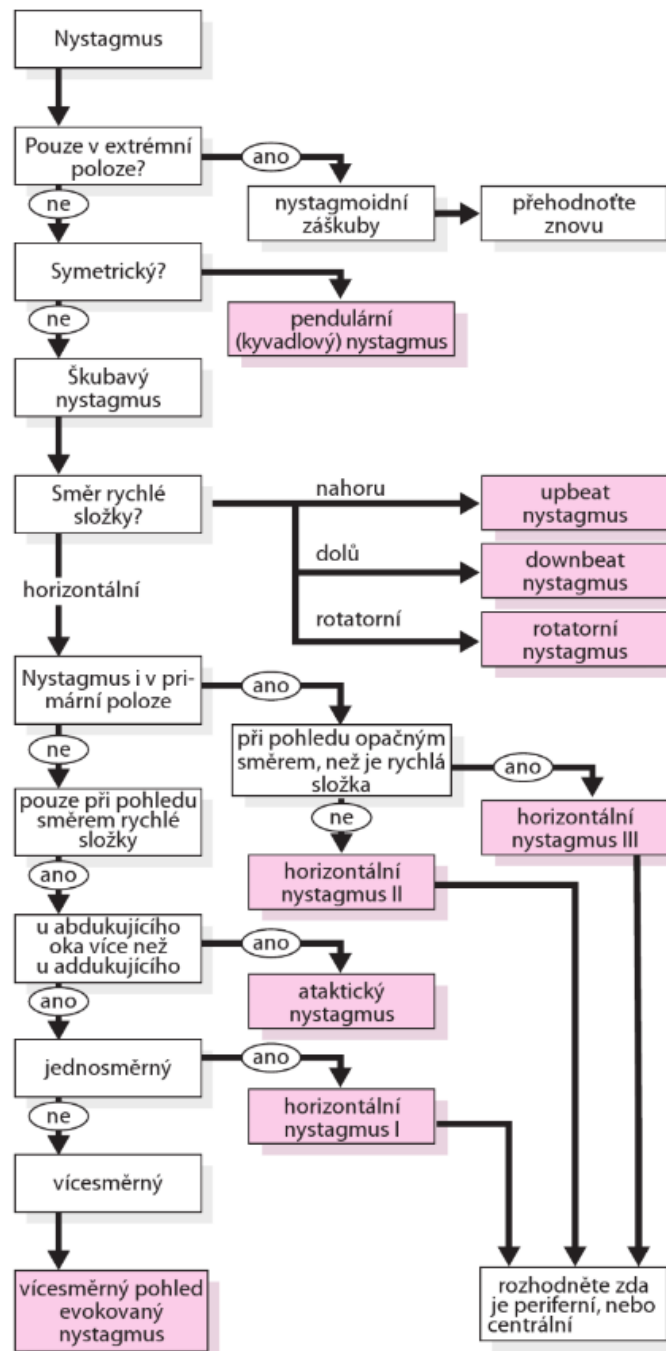
Pomocí elektronystagmografie (ENG)

Metoda s využitím bipolarity oka (rohovka nabitá kladně, sítnice nabitá záporně). Elektroдами jsou snímány jednak změny elektrického potenciálu, tak i pohyby bulbů [14, 20].

5.2 Vyšetření poruch rovnováhy

Rovnováha je komplexním dějem, který zahrnuje příchozí informace z několika vstupů k následnému vyhodnocení. Tato skutečnost ztěžuje diagnostiku i léčbu. Velmi důležitá je proto anamnéza a fyzikální nález.

Poruchami rovnováhy se zabývá neurologie a otorinolaryngologie. Mezi subjektivní testování rovnováhy patří tzv. stoj podle Romberga, úchylky paží dle Hautanta či Unterbergerova zkouška. Dalšími možnostmi jsou vyšetření rotací a píštělového příznaku. Významnou součástí diagnostiky funkce rovnovážného aparátu je kalorické vyšetření, vestibulární evokované myogenní potenciály (VEMP) a video Head Impulse Test (vHIT). Pacienti jsou testováni také pomocí elektronystagmografie, stabilometrie či kraniokorporografie. Uplatňují se rovněž zobrazovací metody, jako je počítačová tomografie nebo magnetická rezonance [11, 16, 21, 22, 26].



Obrázek 6: Schéma vyšetření nystagmu [20]

6 Head Impulse Test (HIT)

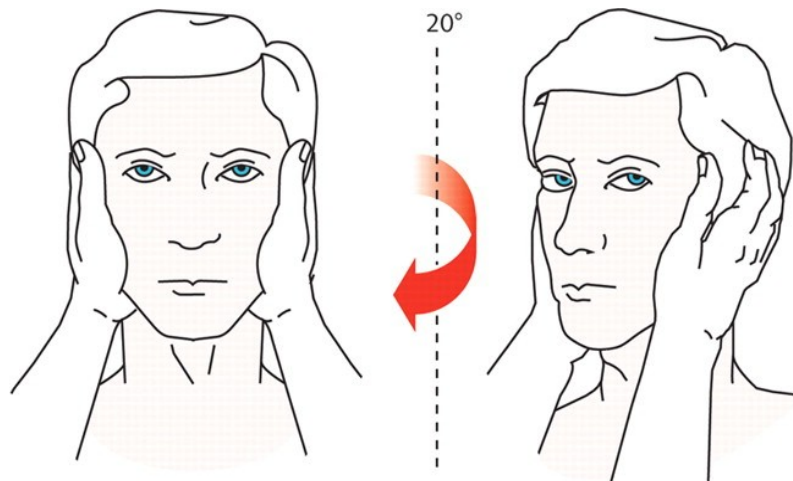
Head Impulse Test je subjektivní metoda vyšetření periferního vestibulárního systému, která umožňuje detekovat sníženou funkci horizontálních a vertikálních polokruhovitých kanálků prostřednictvím vestibulookulárního reflexu. Tato metoda byla poprvé popsána v roce 1988 a je charakteristická přímou spoluprací vyšetřujícího s pacientem, bez využití technické podpory či speciálních pomůcek. Specifický ráz vyšetření umožňuje provádět diagnostiku u všech věkových skupin, včetně dětí. Možnou kontraindikací jsou bolesti v oblasti krku či slabozrakost.

6.1 Princip vyšetření

Před samotným provedením testu je nutné vysvětlit postup vyšetření pacientovi. Skládá se z vyšetření horizontálních a vertikálních polokruhovitých kanálků.

6.1.1 Testování horizontálních polokruhovitých kanálků

Při testování horizontálních polokruhovitých kanálků stojí lékař před pacientem, rukama drží pacientovu hlavu (viz obr. 7) a pacient má za úkol upřeně sledovat pevně fixovaný bod, obvykle se jedná o nos vyšetřujícího. Nyní vyšetřující osoba prudce, a pro pacienta nepředvídatelně, otáčí jeho hlavou v rovině obou laterálních polokruhovitých kanálků, přičemž důležitý je úhlový rozsah této rotace. Doporučené rozmezí $10\text{--}20^\circ$ by nemělo být lékařem překročeno [30].

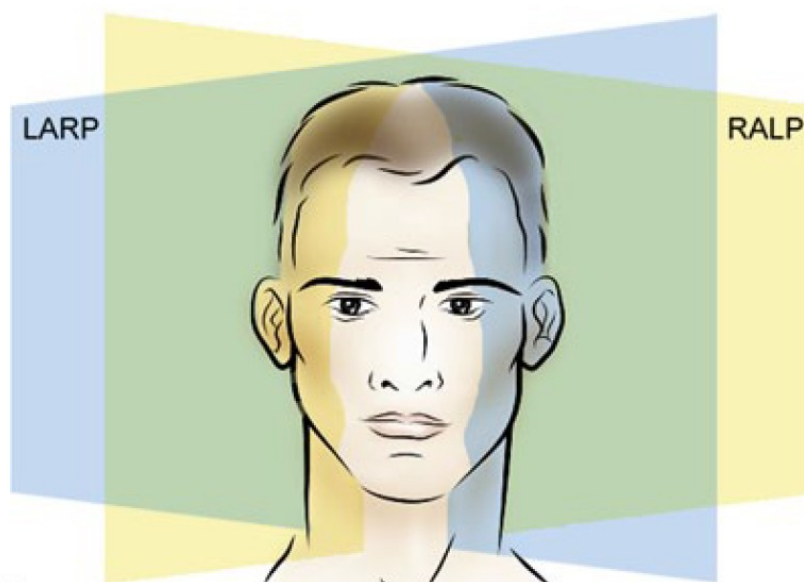


Obrázek 7: Testování funkce pravého laterálního polokruhovitého kanálku [42]

6.1.2 Testování vertikálních polokruhovitých kanálků

Testování vertikálních polokruhovitých kanálků je mírně komplikovanější. Lékař zachovává postoj před vyšetřovanou osobou a rozvrhne připravované testování ve dvou rovinách. V tzv. LARP rovině (levý přední, pravý zadní kanálek) je pacient otočený o 45° na pravou stranu (z jeho pohledu), pohybem směrem dolů je stimulován levý přední kanálek (LA) a pohybem

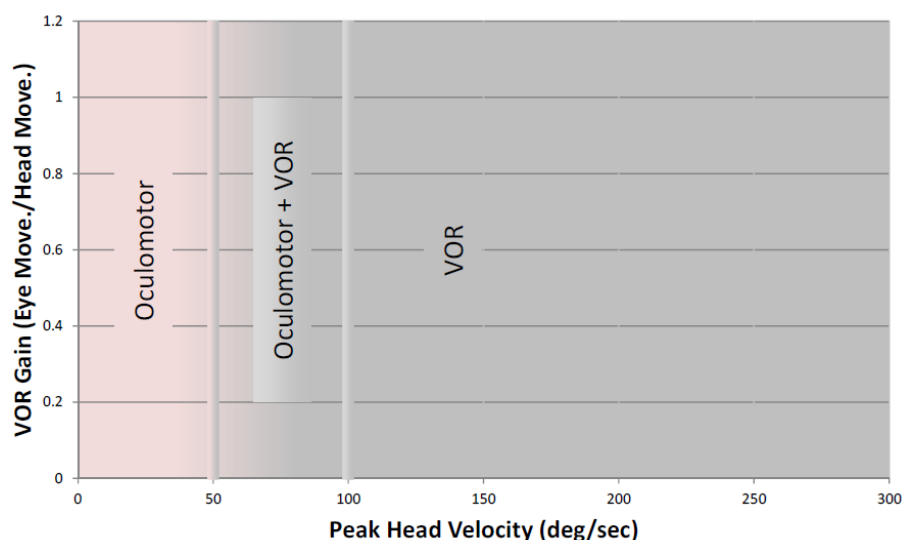
nahoru pravý zadní (RP) polokruhovitý kanálek. V tzv. RALP rovině (pravý přední, levý zadní kanálek) je pacient otočený o 45° na levou stranu (z jeho pohledu), pohybem směrem dolů je stimulován pravý přední kanálek (RA) a pohybem nahoru levý zadní (LP) polokruhovitý kanálek. Poté provádí pohyby hlavy nahoru a dolů, přesně dle dvou zmíněných rovin, ve kterých se nacházejí vertikální polokruhovité kanálky. Vyšetřující osoba sleduje pouze vertikální oční pohyby. Od pacienta se vyžaduje, aby po celou dobu pozorně fixoval stacionární bod (nos) [36].



Obrázek 8: LARP a RALP rovina vertikálních polokruhovitých kanálků [28]

6.1.3 Problematika rychlosti prováděných impulsů

Doporučená vrcholová rychlost stimulace hlavy pro testování horizontálních polokruhovitých kanálků v laterální rovině činí $120\text{--}250\text{ }^\circ/\text{s}$. Pro vertikální polokruhovité kanálky se ideální vrcholový rychlostní interval pohybuje v oblasti $100\text{--}200\text{ }^\circ/\text{s}$. Důvodem je, že impuls hlavy, odpovídající rychlosti pod $50\text{ }^\circ/\text{s}$, je zprostředkován zcela pomocí sledovacího mechanismu okohybného systému. Impuls hlavy s rychlostí v rozmezí $50\text{--}100\text{ }^\circ/\text{s}$ je zajištěn jak okohybným systémem, tak i vestibulárním reflexem. Při hodnotách nad $100\text{ }^\circ/\text{s}$ je již impuls zprostředkován zcela pomocí VOR (viz obr. 9) [29, 34].

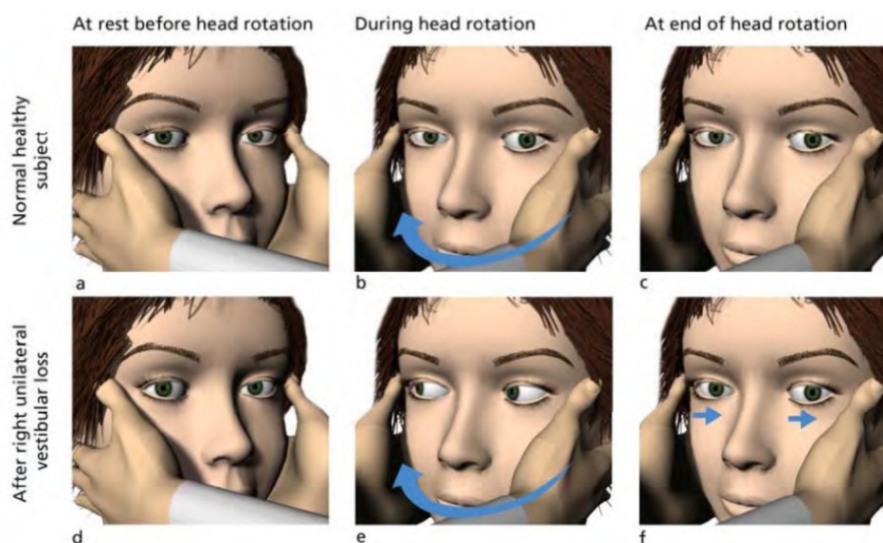


Obrázek 9: Činnost okohybného systému a VOR v závislosti na rychlosti stimulace [29]

6.1.4 Vyhodnocení testu

V případě správně fungujícího vestibulookulárního reflexu je pacient schopen po celou dobu průběhu zmíněného vyšetření udržet zrakový kontakt s pevným bodem, jelikož VOR zajišťuje stabilní zrakovou fixaci při pohybech hlavou. Nicméně v případě, že je VOR vyšetřované osoby nedostatečný, pak se směr jeho pohledu odchýlí ve směru pohybu hlavy a k fixaci stacionárního bodu dojde až sekundárně.

Porušená funkce VOR se projevuje tzv. korekčními sakádami, což jsou rychlé oční pohyby, zajišťující ostrost zorného pole. Jak již bylo zmíněno, lékař sleduje pohyb pacientovy zorničky. Nejdůležitější je především okamžik na konci pohybu hlavy. Musí tak subjektivně posoudit, zda jsou součástí očního pohybu korekční sakády. Sekundární fixace je obvykle zkušným vyšetřujícím snadno rozpoznána. Je označovaná termínem zjevné sakády. Jedná se o příznak porušené funkce polokruhovitých kanálků. Komplikace vyšetření metodou Head Impulse Test nastává v okamžiku výskytu tzv. skrytých sakád. Prokázalo se totiž, že pacienti s deficitem některého z polokruhovitých kanálků mohou vyvolat malé korekční sakády během rotace hlavy. V případě tohoto typu rychlého pohybu očí jsou zorničky fixovány zpět na pevný bod bez nutnosti výskytu zjevných sakád. Tyto nenápadné sakády během rotace hlavy skrývají postižení VOR, lékař je není schopen rozpoznat. Vyskytují se typicky těsně před koncem impulsu hlavy z důvodu sakádové prodlevy (čas mezi iniciací a propuknutí sakády). Dosud není zcela objasněna příčina vzniku skrytých sakád. Mohou být způsobeny kompenzačními úrovněmi, předvídatelností impulsu hlavy či dalšími, dosud neznámými faktory [29, 30, 47].



Obrázek 10: VOR u zdravé osoby a u osoby s jednostrannou vestibulární poruchou [30]

6.2 video Head Impulse Test (vHIT)

Bylo evidentní, že problém skrytých sakád a subjektivní povahy vyšetření obecně je řešitelný pomocí rozvíjející se techniky, která by lékaři při diagnostice asistovala. První takovou objektivní metodou se stala scleral search coil, postupem času zlatý standard pro měření vysokých rychlostí očních pohybů, a tudíž i skrytých sakád. V mnoha ohledech však ne zcela splňovala požadavky klinické praxe. Jedná se o invazivní metodu, tudíž je omezen komfort pacienta během vyšetření, dalším problémem jsou velmi vysoké pořizovací náklady a v neposlední řadě také zvýšené nároky na prostorové uspořádání či časová náročnost.

V souvislosti vyjmenovanými negativy byla navržena metoda, snažící se přizpůsobit potřebám klinické praxe. Princip této nové metody je založen na snímání očních pohybů kamerou, od které je odvozen také její název: video Head Impulse Test. Jedná se o objektivní, neinvazivní způsob vyšetření, které je komfortní pro pacienta a praktické v klinické praxi. Lékaři nabízí přesný datový výstup v podobě informace o funkčním stavu všech šesti polokruhovitých kanálků. První pokusy o systém založený na videu se datují do doby po roce 2000. Technický rozvoj posledních let napomohl k vývoji lehkých brýlí s vysokorychlostní kamerkou (250 Hz), která dokáže efektivně zachytit také skryté sakády. Prokázalo se, že 250 Hz je optimálně zvolenou hladinou snímkovací frekvence, jelikož umožňuje detekovat všechny korekční sakády, vyšší kmitočty už nemají na analýzu žádný vliv. Vestavěné gyroskopy a akcelerometr zajišťují měření rychlosti, respektive směru pohybu hlavy. Poté, co se také podařilo vyřešit problém s pohybovou stabilitou kamery vůči hlavě, byly na trh uvedeny dva systémy využívající vysokorychlostní video záznam. První systém od firmy Autronic Reglersysteme nese název EyeSee-Cam VOG. Druhý systém, ICS Impulse[®], byl vyvinut společností GN Otometrics [30, 36, 37, 45].

7 Praktická část

Hlavním bodem této části práce je realizace měření metodou video Head Impulse Test u skupiny jedenácti probandů. Analýza získaných dat je provedena pomocí nově navržených pravidel hodnocení funkčního stavu polokruhovitých kanálků. Zdůvodnění významu zavedení těchto pravidel je uvedeno v kapitole 7.4.2. Ve snaze objasnit tuto inovaci v porovnání s hodnotícím algoritmem softwaru OTOSuite® Vestibular, je kapitola 7.4.1 zaměřená na prezentování systému hodnocení vyvinuté firmou GN Otometrics a na její nedostatky. Součástí provedené analýzy testu, aplikace GainID byla naprogramována s cílem převést klasifikaci do elektronické podoby.

Výsledky měření jsou uvedeny v kapitole 7.4.5, v níž jsou souhrnně popsány informace, jež zahrnují návrh podrobnější analýzy, sloužící pro následné stanovení případné diagnózy u každého z jedenácti testovaných pacientů. Při prezentování závěrů z naměřených dat je třeba vzít na vědomí, že metodou video Head Impulse Test vyhodnocujeme pouze část periferního vestibulárního aparátu. Druhou složkou vyšetření jsou vestibulární evokované myogenní potenciály (VEMP). Jedná se o novou, objektivní metodu, jež byla uvedena do klinické praxe v nedávné době. Teprve kombinací obou vyšetření dosáhneme komplexního přehledu o stavu periferního vestibulárního systému. Jelikož přesnost každého měření ovlivňují vyskytující se artefakty, jsou v kapitole 7.5 uvedeny nástroje k jejich eliminaci.

Prostor v praktické části práce je vyhrazen samotnému popisu přístroje, respektive brýlím ICS Impulse®, prostřednictvím nichž je metoda video Head Impulse Test realizována. Nedílnou součástí brýlí je také software OTOSuite® Vestibular v počítači, tudíž je nutno zmínit také minimální hardwarové parametry, které musí PC splňovat. Co se týče výše zmíněného softwaru, je charakteristika jeho jednotlivých částí uvedena v kapitole 7.3.

Důležitou a obsahově rozsáhlou součástí práce je popis samotného průběhu vyšetření. Mezi hlavní úkoly přípravy před zahájením testování je detekce zorničky a kalibrace brýlí. Výhodou přístroje ICS Impulse® je, že nejde o časově náročnou proceduru, která by nepatřičně prodlužovala dobu vyšetření.

7.1 Brýle ICS Impulse®

K propojení brýlí ICS Impulse® se stolním počítačem či notebookem slouží USB kabel. V PC musí být nainstalován software OTOsuite® Vestibular. Použitými zdroji v této kapitole jsou: [33, 38].

7.1.1 Popis brýlí



Obrázek 11: Brýle ICS Impulse® firmy GN Otometrics [33]

- 1) Kamera, poskytující vysokofrekvenční záznam očních pohybů
- 2) Vestavěné gyroskopy, měřící pohyb hlavy
- 3) Zrcátko, odrážející pohyb zorničky do kamery
- 4) Vestavěný kalibrační laser

7.1.2 Rozměry brýlí

Délka: 18,4 cm

Šířka: 1,3 až 4,4 cm

Výška: 4,4 cm

Váha: 60 g

7.1.3 Technické parametry přístroje

Rozhraní a napájení: USB 2.0 nebo 3.0 (5 V DC/500 mA)

Snímková frekvence: 250 Hz

Video nahrávání: 30, 60, 120 Hz

Gyroskopy: 9osé zpracování pohybových dat

Software: OTOsuite® Vestibular

7.1.4 Parametry laseru

Maximální vlnová délka: 660 nm

Maximální výstupní výkon: 0,9 mW

7.1.5 Minimální PC požadavky

Operační systém: 64 bitů: Windows 7 Professional & Enterprise, Windows 8 Pro, 32 bitů: Windows 7 Professional & Enterprise, Windows 8 Pro

Procesor: Intel Core i5

Operační paměť: 64 bitů: (Windows 7 nebo Windows 8): 6 GB, 32 bitů: (Windows 7 nebo Windows 8): 4 GB

Volné místo na disku: 300 GB

Vstupy: USB 2.0 nebo 3.0

Rozlišení obrazovky monitoru: 1600 x 900 pixel

Komponenty: myš, klávesnice

Doporučení PC výrobci: Lenovo®, Dell®, Hewlett Packard®, Sony®

7.2 Princip vyšetření vHIT

Vyšetření vHIT probíhá obdobně prováděnými impulsy jako u Head Impulse Testu. Liší se skutečností, že má pacient nasazený odlehčený, těsně padnoucí brýle, na nichž je připevněna malá vysokorychlostní kamera a zrcátko, sloužící k odrazu zorničky do snímacího systému. Lékař při tomto vyšetření stojí za sedícím pacientem (viz obr. 12), který má za úkol fixovat stacionární bod ve vzdálenosti přibližně jednoho metru. V této subsekci byly využity prameny: [30, 32, 41, 43, 44].



Obrázek 12: Správné uchopení hlavy během testování [32]

7.2.1 Doporučení pro pacienta před vyšetřením

- Neužívat uklidňující léky, léky pro utlumení činnosti vestibulárního systému a sedativa nejméně dva dny před vyšetřením. Výjimku tvoří léky na srdeční potíže, léky proti záchvatům, antidepresiva či inzulin, které nelze vysadit. Vhodná je porada s lékařem.
- Přejímáním dva dny před vyšetřením nekonzumovat alkohol.
- Neaplikovat řasenku a make – up v okolí očí.

7.2.2 Kontraindikace

- Zranění v krční oblasti nebo doporučení omezit krční pohyby.
- Výrazná slabozrakost či slepota.

7.2.3 Evidence pacienta

Založení nového pacienta nabízí ikona New Patient. Po kliknutí se otevře formulář (viz obr. 13). Skupina Current Patient zobrazuje data právě otevřeného pacienta. Pro zobrazení všech uložených pacientů slouží ikona Patient List, která se nachází ve skupině Patients.

The screenshot shows a web-based form titled "Add New Patient". It is organized into four main sections with rounded corners and light gray borders. The "Patient Information" section on the top left contains input fields for "Last Name*", "First Name*", "Patient ID", a dropdown for "Gender" (currently showing "Unspecified"), and a date picker for "Birth Date" with the format "mm/dd/yyyy". The "Patient Address" section on the top right contains input fields for "Address 1:", "Address 2:", "City:", "State/Province:", "Postal Code:", and "Country:". The "Patient Contact" section on the bottom left contains input fields for "Home Phone:", "Mobile Phone:", and "Email:". The "Referring" section on the bottom right contains input fields for "Physician:" and "Facility:". At the bottom right of the form are two buttons: "Save" with a floppy disk icon and "Cancel" with a red X icon.

Obrázek 13: Vyplnění formuláře nového pacienta [44]

7.2.4 Příprava brýlí a prostoru pro vyšetření

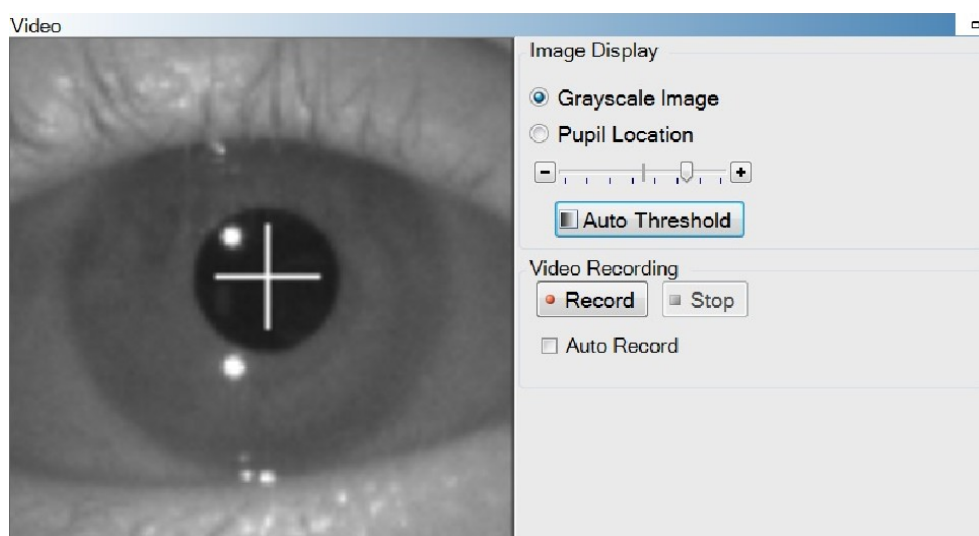
Před zahájením vyšetření každého pacienta by měla být použita nová obličejová vycpávka brýlí. Pro správnou detekci pohybu oka je nezbytné důkladné vyčištění plochy zrcátka. Taktéž je nutné utáhnoutí popruhu brýlí tak, aby se zabránilo klouzání na tváři, a tudíž výskytům nežádoucích artefaktů. Pro samotné vyšetření je podstatné vybrání vhodného místa ve vzdálenosti přibližně jednoho metru čelem ke stěně, kde je nalepen fixní terčik. Velmi důležité jsou světelné poměry v místnosti, které mohou narušit detekci zorničky v zrcátku. Podmínkou správné detekce zorničky jsou také dostatečně otevřené oči.

7.2.5 Mnohotné testy

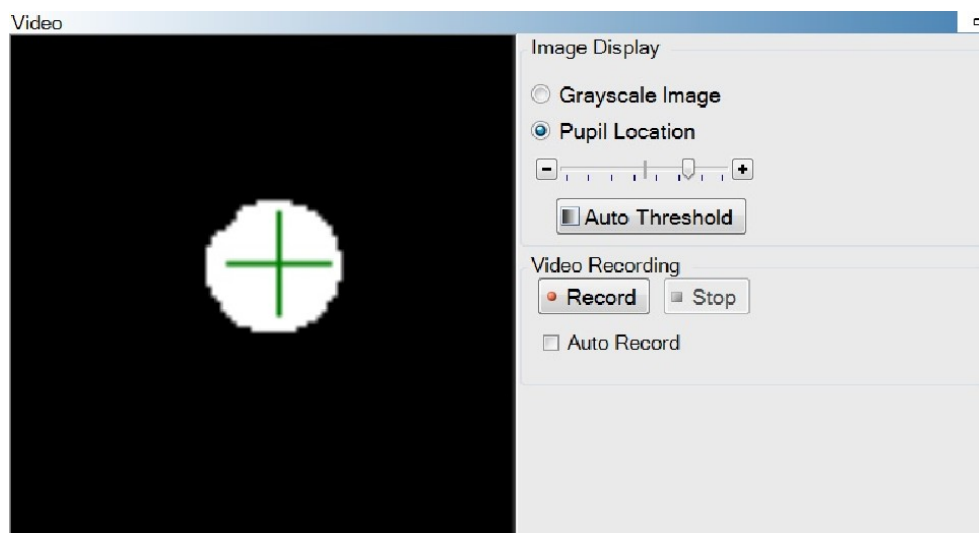
Jedná se o záložky Progress Graphs a Progress Data. Výsledky jednotlivých vyšetření jsou systémem ukládány, lze tak jednoduše dokumentovat pokrok a srovnání s předešlými testy. Lékaři tato data pomáhají zefektivnit vestibulární rehabilitaci [31, 43].

7.2.6 Detekce zorničky

Systém detekuje černé pole zorničky, označuje ho jako ROI (region of interest). Úkolem vyšetřujícího je vycentrovat zaměřovač na oblast ROI. Na výběr jsou volby zobrazení Grayscale Image a Pupil Location (viz obr. 14 a 15). Funkci automatické prahové hodnoty Auto Threshold lze využít v případě, že nebyla automaticky detekována zornice. Zaměřovač je na zornici následně vycentrován systémem. Poté je nutná kontrola správného následování pohybu zorničky zaměřovačem. Nabídka Video Recording umožňuje nahrávat pohyb oka kamerou. Tlačítko Record a Stop slouží k manuálně řízenému nahrávání, kdežto po zaškrtnutí pole Auto Record je nahrávání spuštěno automaticky.



Obrázek 14: Volba Grayscale Image

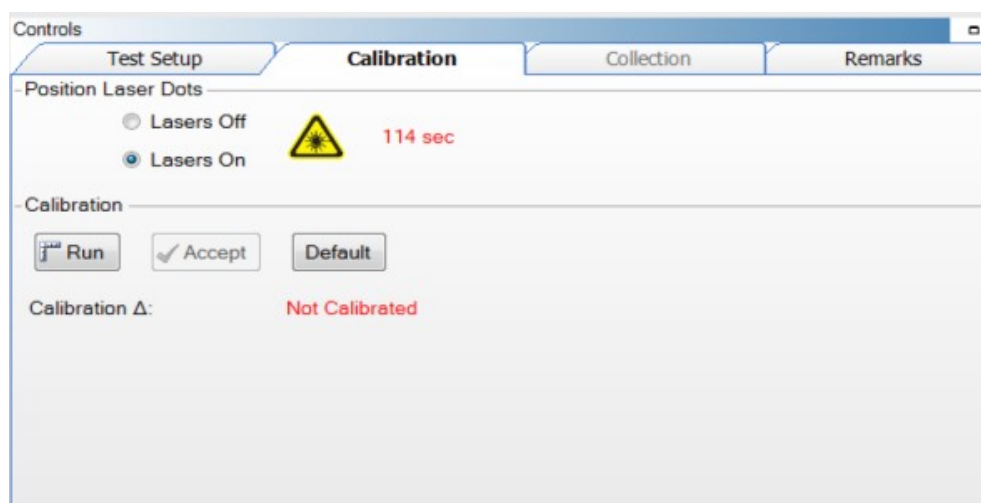


Obrázek 15: Volba Pupil Location

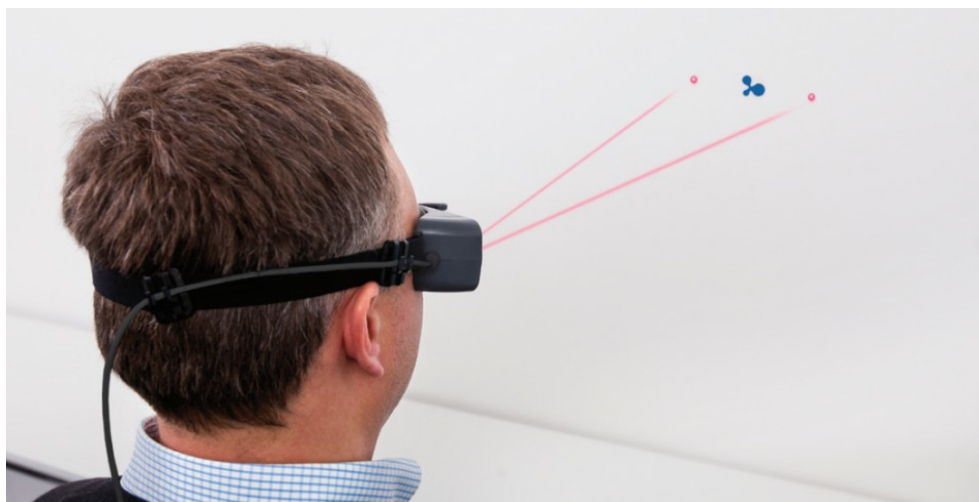
7.2.7 Kalibrace

Po kontrole správné detekce zorničky následuje kalibrace brýlí ICS Impulse[®], během níž je pacient požádán, aby nasměroval dvě laserové tečky, promítané z brýlí na stěnu, mezi nalepený stacionární bod tak, aby byl přesně uprostřed (viz obr. 17). K zahájení kalibračního procesu slouží volba Run. Následně pacient sleduje blikající lasery na každé ze stran. Pohyb očí mezi dvěma laserovými body je měřen a kalibrován vzhledem ke vzdálenostním hodnotám obou laserů. Posledním krokem je kontrola kalibračních hodnot, prováděním pohybů hlavy do stran (stejných jako u vyšetření funkce horizontálních polokruhovitých kanálků).

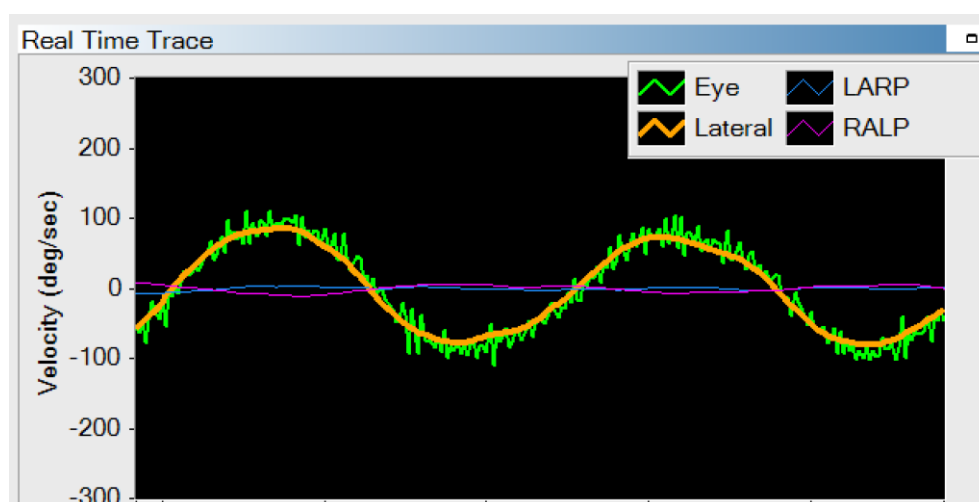
K monitorování pacienta v reálném čase slouží okno Real Time Trace (viz obr. 18). Barveně jsou zde naznačeny pohyby oka v příslušné rovině (laterální, LARP nebo RALP) a pohyb oka v závislosti na rychlosti prováděných impulsů. Díky tomuto oknu má lékař možnost rozpoznat, zda pacient pohybuje hlavou nebo očima (místo sledování fixačního bodu), přílišně mrká nebo nenásleduje instrukce vyšetřujícího (nespolupracuje). Tlačítkem Accept lze potvrdit úspěšnou kalibraci. Pokud není stopa očí a hlavy vzájemně překryta (neshoduje se), musí dojít k rekalibraci nebo opětovnému nahlédnutí do pacientovy dokumentace. V případě, že pacient nemůže být z nějakého důvodu (např. zrakového) kalibrován, musí být použito tlačítko default, které umožňuje použití referenčních kalibračních hodnot. Celkově zabere kalibrační proces pouze několik sekund a není k němu třeba žádný další kalibrační hardware.



Obrázek 16: Záložka kalibrace [44]



Obrázek 17: První krok kalibrace [32]

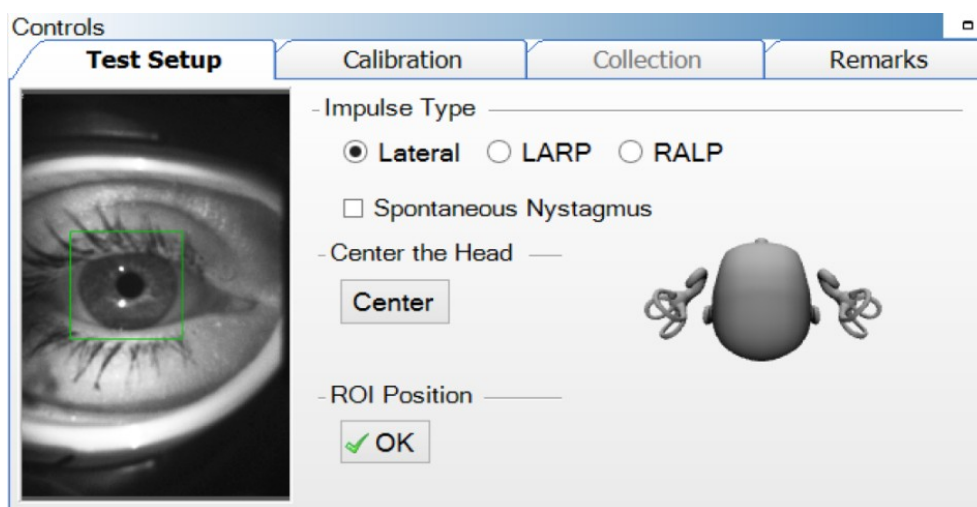


Obrázek 18: Okno Real Time Trace – správně provedená kalibrace [44]

7.2.8 Nastavení testu

Pokud byla kalibrace úspěšná, je možno přistoupit k samotnému testování. Uživatel volí typ testu z nabídky laterální, LARP a RALP roviny polokruhovitých kanálků. Při testování všech tří rovin je vhodné postupovat podle výše zmíněného pořadí. Software nabízí možnost zohlednění pacientů se spontánním nystagmem nebo nystagmem vyvolaným upřeným pohledem. Tato skutečnost musí být před vybraným testem označena, v opačném případě nebude software přijímat platné impulsy. Funkce Center se týká pouze LARP a RALP testu. Jde v podstatě o softwarovou nápovědu pro vyšetřujícího, jenž se chystá provádět impulsy ve dvou výše zmíněných rovinách. Blíže se této problematice věnuje kapitola 7.2.10. Kliknutím na tlačítko OK nabídky ROI Posi-

tion je uživatelem potvrzena správná detekce zorničky systémem, popřípadě může být tažením zeleného rámečku upravena.

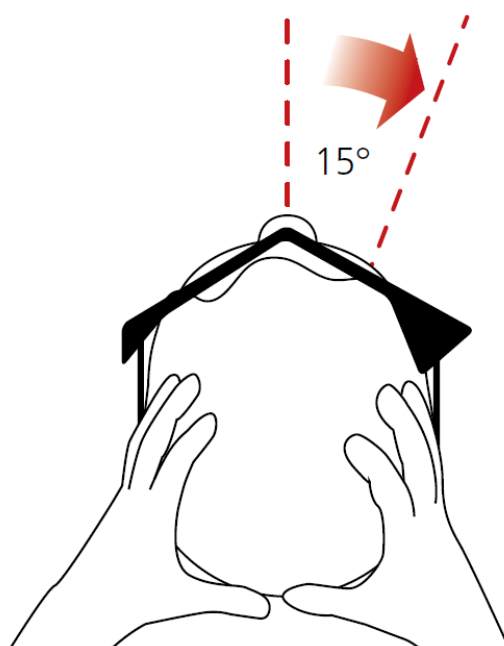


Obrázek 19: Okno nastavení testu [43]

7.2.9 Vyšetření funkce horizontálních polokruhovitých kanálků

Jak již bylo zmíněno, vyšetřující stojí za pacientem a uchopí jeho hlavu v temenní oblasti tak, aby se nedotkl popruhu brýlí. Hlava pacienta by měla být skloněna o 30° směrem dolů, zároveň je požádán, aby sledoval fixní bod na stěně. Poté lékař provádí prudké ($120\text{--}250^\circ/\text{s}$) a pro pacienta nepředvídatelné otáčení hlavou v rovinách obou laterálních polokruhovitých kanálků (tzn. doleva a doprava) s úhlovým rozsahem $10\text{--}20^\circ$. Doporučený počet provedených impulsů pro každý kanálek je dvacet, nicméně v záložce Collection (viz obr. 21) je možné vybrat libovolné množství. Tlačítkem Start je vyšetření zahájeno. Dále je možno test přerušit (Stop) či zrušit (Cancel).

Vyšetřující v průběhu testování sleduje Real Time Trace, kde má možnost optimalizovat rychlost prováděných impulsů a v záložce Collection současně kontrolovat jejich počet (přijatých či zamítnutých impulsů systémem). Modrou, respektive červenou barvou textu jsou označeny polokruhovité kanálky, u kterých došlo k přijetí impulsů systémem (s číslovkou udávající počet přijatých impulsů), kdežto černým označením (Rejected) je udán počet impulsů systémem nepřijatých.



Obrázek 20: Testování funkce pravého laterálního polokruhovitého kanálku [31]

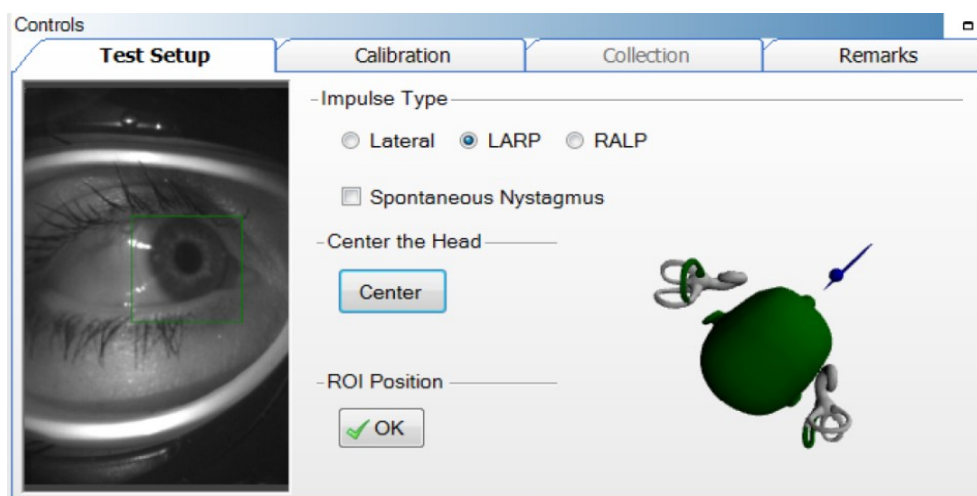
Controls			
Test Setup		Calibration	
Collection			
Remarks			
- Collected Impulses -			
Impulse Type:	Lateral		
Left (positive):	8	of	20
Right (negative):	4	of	20
Rejected:	3		
<input type="button" value="Start"/> <input type="button" value="Stop"/> <input type="button" value="Cancel"/>			
Elapsed Time: 00:23		10/2/2014 11:38 AM	
Frame Rate: 246 fps			
Calibration Δ: 21.0		Default	
Operator Feedback:			

Obrázek 21: Záložka Collection [43]

7.2.10 Vyšetření funkce vertikálních polokruhovitých kanálků

Před vyšetřením v LARP/RALP rovině je nutné provést otočení pacientovy hlavy o 45 ° na pravou, respektive levou stranu pomocí nápovědy generované softwarem, jenž graficky (vykreslením hlavy zelenou barvou) znázorňuje požadovaný úhel (viz obr. 22). Lékař provádí impulsy v předepsaném rychlostním intervalu (100–250 °/s) tak, aby vyhověly nastavené-

mu algoritmu přístroje. Směr těchto, pro pacienta nepředvídatelných pohybů, je dán rovinou testovaných kanálků.



Obrázek 22: Návod software pro nacentrování hlavy při LARP testování [44]

7.3 SW OTOsuite® Vestibular

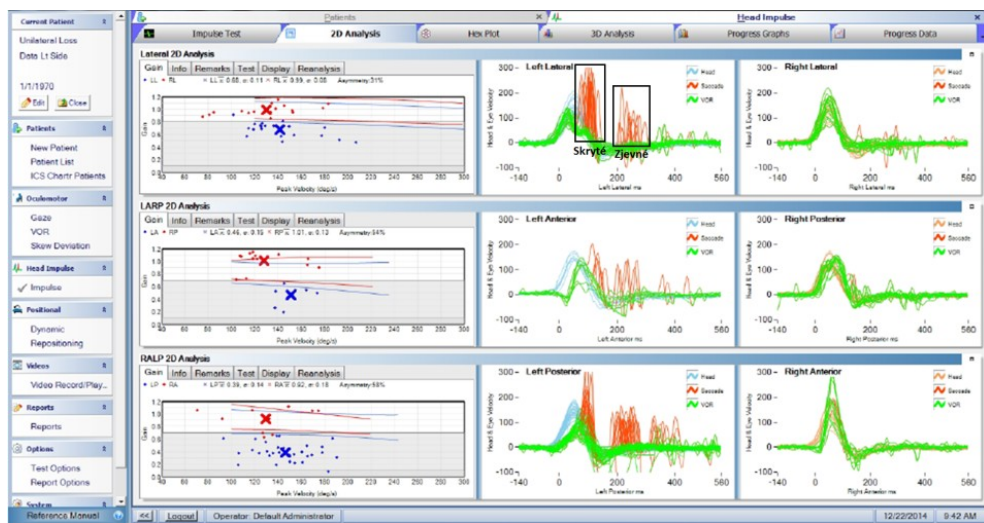
Pohyb oka a hlavy je v reálném čase analyzován a vyhodnocován dvěma algoritmy pomocí softwaru OTOsuite® Vestibular. Prvním je algoritmus pro shromažďování dat. Při něm jsou rychlosti provedených impulsů porovnány s hranicemi referenčních rychlostních intervalů. Pokud se impulsy nacházejí mimo výchozí rozsah, jsou softwarem zamítnuty. Je tak zamezeno přístupu chybných dat do celkového výsledku testu. Druhým řídicím prvkem je analyzační algoritmus. Ten eliminuje data získané na začátku a na konci prováděných impulsů. Poté dojde k reanalýze, opět vzhledem k referenčním intervalům. Analyzační algoritmus následně přesně stanoví rychlostní hladinu vrcholových hodnot příslušných impulsů hlavy. Tato data jsou posléze použita k výpočtu gainu VOR (viz kapitola 7.3.1).

Software zaznamenává jednotlivě provedené impulsy hlavy. Na konci testu jsou všechny stimuly (rotace hlavy) a jim příslušné odpovědi (kompenzační pohyb očí) navrstveny a zobrazeny v podobě 2D grafu pro všech šest polokruhovitých kanálků (viz obr. 23). Přítomnost korekčních sakád v grafu je podmíněna velkou amplitudou, podobnou stopou a dobou výskytu větší než 70 ms od začátku stimulace. Pokud algoritmus vyhodnotí, že jsou dané korekční sakády významného charakteru, zobrazí se na grafu s oranžovou barvou. Skryté sakády jsou charakteristické svým výskytem v průběhu rychlostní amplitudy zaznamenaných pohybů očí a hlavy. Zjevné sakády jsou přítomné v časové oblasti až za zmíněnou amplitudou.

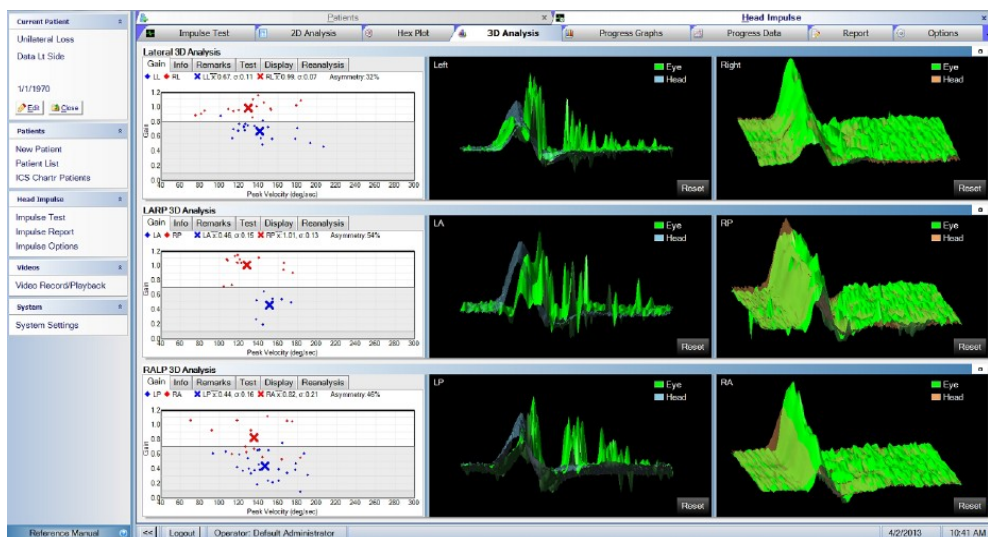
Pro detailnější zobrazení výsledků testu jsou k dispozici 3D grafy (viz obr. 24), které umožňují lepší představu o rozložení korekčních sakád. Záložka Hex Plot (viz obr. 25) nabízí přehledně seřazené 2D grafy pro jednotlivé kanálky, přičemž v dolní části každého grafu je zobrazena průměrná hodnota gainu VOR. Vlevo nahoře v okně Hex Plot je vypočtena celková asymetrie všech tří rovin polokruhovitých kanálků, vyjádřená v procentech. Laterální (levý k pravému), LARP (levý přední k pravému zadnímu), RALP (pravý přední k levému zadnímu). K výpočtu asymetrie je potřeba rozlišovat menší a větší hodnotu gainu u obou kanálků náležících k příslušné rovině. Algoritmus výpočtu asymetrie je následující:

$$\left(1 - \frac{\text{menší hodnota gainu}}{\text{větší hodnota gainu}}\right) \times 100 \quad (1)$$

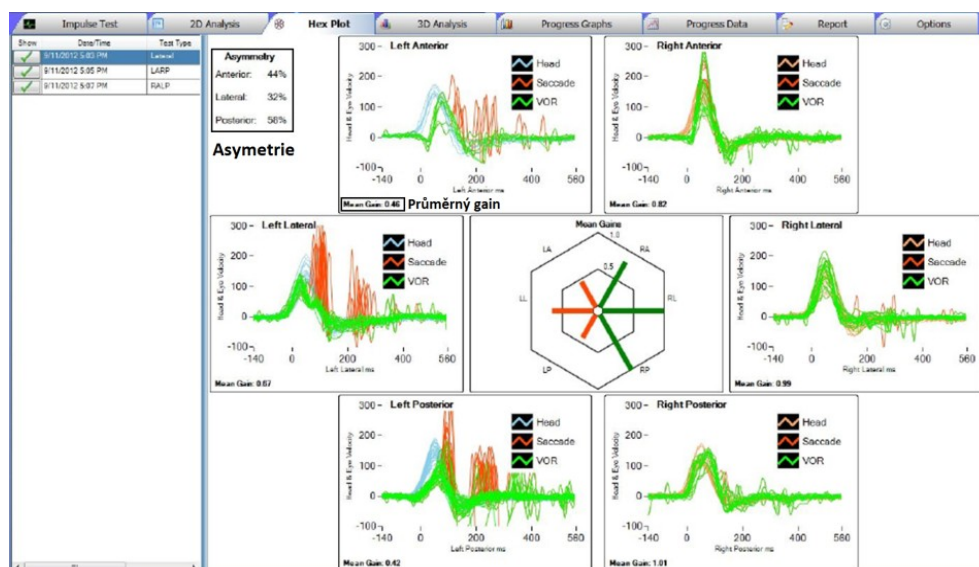
V prostřední části vyskytující se hexagram naznačuje průměrné hodnoty gainu VOR pro každý kanálek. Je složen ze dvou rámečků. Vnitřní znázorňuje hodnotu 0.5 a vnější 1.0. Zelenou barvou je označen sloupec daného kanálku, jenž dosahuje hodnot gainu v rozmezí 0.8–1.2 u laterálních impulsů, respektive 0.7–1.2 při vyšetření v LARP/RALP. Nižší hodnoty gainu (tudiž polokruhovitěho kanálku s deficitem) jsou vyobrazeny oranžovou barvou sloupce [30, 31, 34, 40, 43, 45].



Obrázek 23: 2D analýza [44]



Obrázek 24: 3D analýza [44]

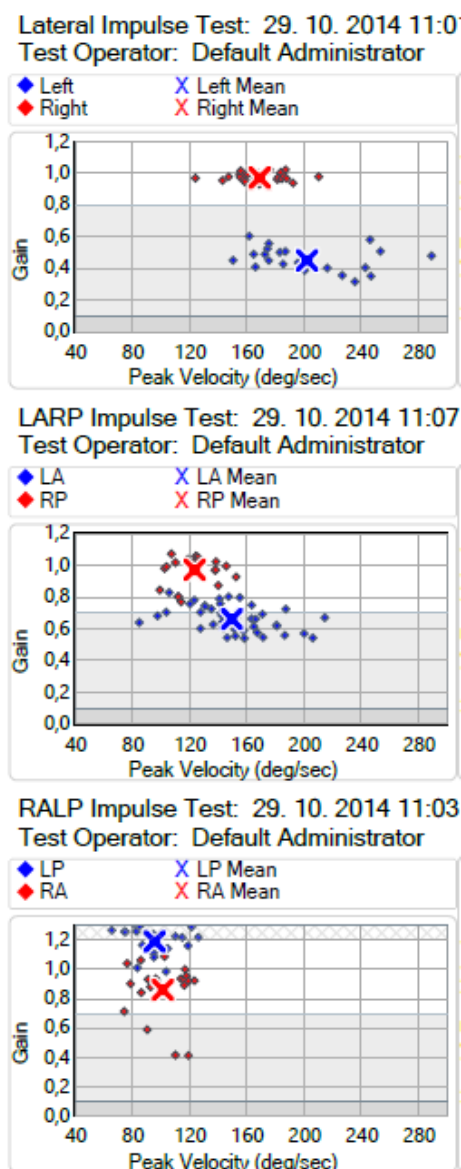


Obrázek 25: Hexagram [44]

7.3.1 Okno gain

Grafické znázornění gainu, neboli podílu očních rychlostí vzhledem k rychlostem hlavy (tzv. gainu VOR) s časovým rozptřením v milisekundové oblasti, umožňuje objektivizaci a kvantitativní posouzení VOR (viz obr. 26). Okno je viditelné na levé straně v záložkách 2D a 3D analýzy (viz obr. 23 a 24). Jedná se o graf jednotlivých impulsů hlavy, jejichž výsledek (gain) je zobrazen dle vrcholových rychlostí hlavy v podobě tečky. Ty nabývají dvou barev, v závislosti na testovaném kanálku. Systém následně z množství vykonaných impulsů vygeneruje průměrnou hodnotu gainu, která se zobrazí v podobě křížku. Vyšetřující má díky grafu přehled o jednotlivých impulsích, a zda jejich rychlosti odpovídají požadovanému intervalu (což systém kontroluje automaticky, viz kapitoly 6.1.3 a 7.3).

V závislosti na ose otáčení očí a hlavy, za předpokladu dodržování správné vzdálenosti stacionárního fixního bodu, stejně tak světelných poměrů, činí bezrozměrná normativní hodnota gainu u laterálních impulsů (při vyšetření horizontálních polokruhovitých kanálků) 0.8–1.2. Pro LARP/RALP rovinu (při testování vertikálních polokruhovitých kanálků) se hodnoty pohybují v rozsahu od 0.7–1.2. Pokud je gain vyšší než zmíněný interval, jedná se obvykle o artefakt. Hodnota gainu ve výše uvedených referenčních intervalech tak reflektuje integritu polokruhovitěho kanálku [28, 34, 39, 43].

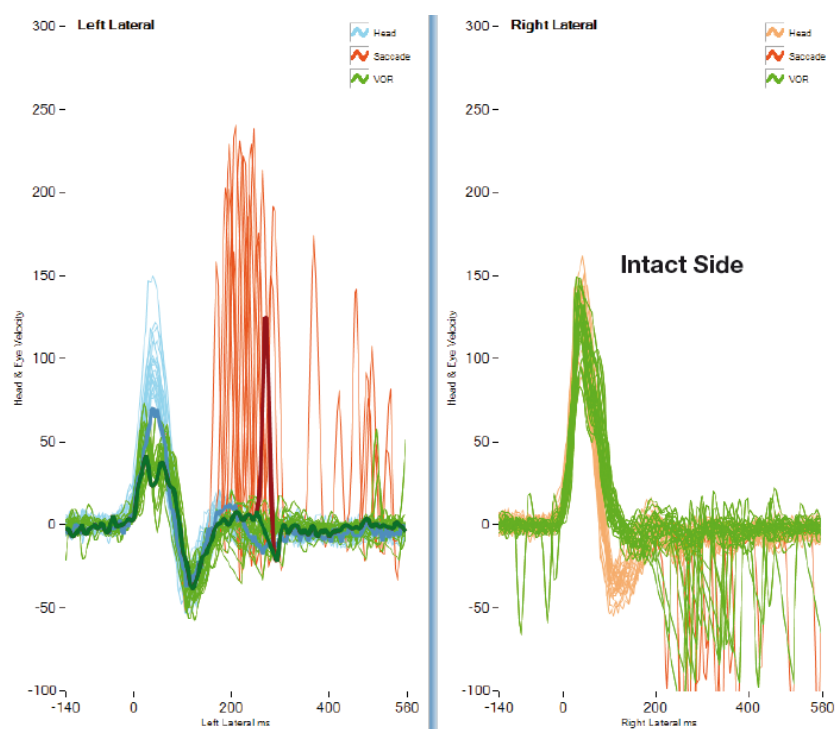


Obrázek 26: Okno gain

7.3.2 Spontánní nystagmus

Měření VOR pomocí vHIT je možné i u pacientů se spontánním nystagmem. Před vyšetřením je nutné označit v nastavení testu políčko Spontaneous Nystagmus (viz obr. 19). Korekční sakády spontánního nystagmu se mohou vyskytnout před a/nebo po impulsu hlavy, na rozdíl od běžných sakád, které mají navíc obvykle větší amplitudu. Za normálních okolností směřují v jednom směru impulsu nahoru a v opačném směru dolů. U nystagmu, který se projeví mimo stranu deficitu, se sakády spontánního nystagmu vyskytují v opačném směru, než impulsy hlavy směřující k nedotčené straně (viz obr. 26). Korekční sakády v záporném směru mohou být způ-

sobený nejen spontánním nystagmem, ale také vznikem artefaktu, označovaným jako tzv. překmit (viz kapitola 7.5.3) [29, 34].



Obrázek 27: Ukázka spontánního nystagmu [34]

7.4 Analýza vHIT

7.4.1 Hodnotící algoritmus softwaru OTOsuite® Vestibular

Tato část práce ozřejmuje současný stav hodnocení polokruhovitých kanálků. Jedná se o princip analýzy dat navržený firmou GN Otometrics a uvedený do klinické praxe. Funkce polokruhovitých kanálků je klasifikovaná prostřednictvím gainu VOR. Software OTOsuite® Vestibular je členěn na správně či nedostatečně fungující. Kanálky bez snížené funkce odpovídají hodnotám 0.8–1.2 u laterálních impulsů (viz tabulka č. 1), respektive 0.7–1.2 při vyšetření v LARP/RALP rovině (viz tabulka č. 2). Polokruhovité kanálky s deficitem vykazují gain nižší než uvedený normativní interval.

Lékař obvykle hodnotí míru deficitu daného kanálku pohledem na hexagram, kde jsou zobrazeny průměrné hodnoty gainu VOR s grafickým vyjádřením v podobě sloupců nabývajících dvou barev. Dysfunkci kanálku znázorňuje oranžová barva sloupce, zatímco v případě průměrných hodnot gainu, nacházejících se v normativním intervalu, je sloupec daného kanálku označen zeleně. Hexagram z tohoto pohledu vyniká svou jednoduchostí a přehledností, zároveň tím však zvyšuje u hodnotícího lékaře tendenci posuzovat stav jednotlivých kanálků pouze „dvoubarevně“. Druhořadá, často opomíjená zřetel na míru dysfunkce v podobě číselné hodnoty průměrného gainu VOR se souhrnným vykreslením sloupce oranžovou barvou je také podnícena softwarem, jenž negeneruje žádnou bližší specifikaci, která by sloužila k výslednému hodnocení funkčního stavu jednotlivých kanálků.

Tabulka 1: Členění horizontálních kanálků softwarem OTOsuite® Vestibular

Gain VOR	Význam
1.20–0.80	správně fungující polokruhovitý kanálek
< 0.79	dysfunkce polokruhovitého kanálku

Tabulka 2: Členění vertikálních kanálků softwarem OTOsuite® Vestibular

Gain VOR	Význam
1.20–0.70	správně fungující polokruhovitý kanálek
< 0.69	dysfunkce polokruhovitého kanálku

7.4.2 Návrh analýzy dat

Cílem práce byla optimalizace hodnocení polokruhovitých kanálků na základě požadavků klinické praxe. Byla vypracována pravidla, podle nichž budou jednotlivé kanálky posuzovány. Rozdělení na pevně dané segmenty umožňuje získat přesnější a podrobnější výstupního hodnocení. Nejprve bylo nutné zvolit odlišnou klasifikaci horizontálních a vertikálních kanálků. Tato skutečnost vyplývá z nastaveného algoritmu softwaru OTOsuite® Vestibular, který pracuje s normativními hodnotami (viz kapitola 7.4.1), které se liší svou spodní hranicí pro horizontál-

ní, respektive vertikální kanálky. V tabulce č. 3 jsou uvedeny zvolené rozsahy pro laterální rovinu a příslušné slovní hodnocení.

Tabulka 3: Rozdělení na segmenty pro horizontální kanálky

Gain VOR	Slovní klasifikace
> 1.21	brýle jsou pravděpodobně špatně nasazený
1.20–0.90	správně fungující polokruhovitý kanálek
0.89–0.80	náznak lehké dysfunkce polokruhovitého kanálku
0.79–0.70	lehká dysfunkce polokruhovitého kanálku
0.69–0.60	středně těžká dysfunkce polokruhovitého kanálku
0.59–0.50	těžká dysfunkce polokruhovitého kanálku
< 0.49	velmi těžká dysfunkce polokruhovitého kanálku

Na hodnoty gainu VOR vyšší než 1.20 je ve zvoleném hodnocení pohlíženo jako na výsledky zkreslené artefakty, které se během vyšetření mohou vyskytnout. Obvykle se jedná o špatné upevnění brýlí na pacientovi. Tato skutečnost je zpravidla potvrzena tím, že je hodnota 1.21 a vyšší naměřena u více kanálků. Pokud se tento jev vyskytne pouze u jednoho a není výrazně vyšší než 1.21, lze ho posuzovat jako výsledek spadající do oblasti 1.20–0.90, kde jsou hodnoty splňující kritéria pro označení „správně fungující polokruhovitý kanálek“. Hraniční oblastí správné funkce jsou hodnoty v intervalu 0.89–0.80. Lze hovořit o náznaku deficitu. Software OTOsuite® Vestibular na tato data pohlíží jako na normativní pro funkční kanálky. Další, nižší intervalové segmenty jsou stejně jako v systému OTOsuite® Vestibular označovány jako nedostatečná funkce polokruhovitých kanálků. Jsou zde slovně rozlišeny jednotlivé desetinové oblasti hodnot v následujícím pořadí: lehká, středně těžká, těžká, velmi těžká dysfunkce polokruhovitých kanálků. Gain VOR pod hranicí 0.50 je souhrnně popsán jako velmi těžká dysfunkce kanálků.

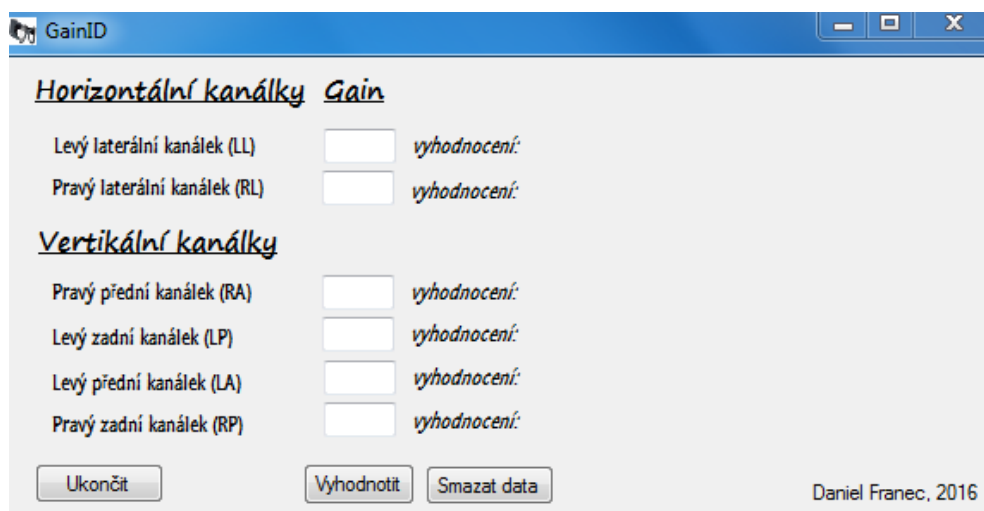
K dalšímu segmentovanému rozdělení nebylo přikročeno, jelikož četnost hodnot menších než polovina ideálního poměru rychlosti očí a hlavy při testování významně klesá, což potvrzuje i provedená studie u jedenácti pacientů (viz kapitola 7.4.5), kdy se výsledek, spadající do zmíněného intervalu, vyskytl pouze dvakrát (pro laterální rovinu). V tabulce č. 4 jsou uvedeny zvolené rozsahy pro LARP/RALP rovinu a slovní klasifikace. Slovní hodnocení je stejné jako u laterální roviny, avšak odpovídá mírně upraveným velikostem intervalů, přizpůsobeným LARP/RALP rovině z již výše zmíněných důvodů.

Tabulka 4: Rozdělení na segmenty pro vertikální kanálky

Gain VOR	Slovní klasifikace
> 1.21	brýle jsou pravděpodobně špatně nasazeny
1.20–0.85	správně fungující polokruhovitý kanálek
0.84–0.75	náznak lehké dysfunkce polokruhovitého kanálku
0.74–0.65	lehká dysfunkce polokruhovitého kanálku
0.64–0.55	středně těžká dysfunkce polokruhovitého kanálku
0.54–0.45	těžká dysfunkce polokruhovitého kanálku
< 0.44	velmi těžká dysfunkce polokruhovitého kanálku

7.4.3 SW GainID

Ve snaze implementovat navržené hodnocení kanálků do elektronické podoby bylo vyvíjeno uživatelské prostředí v programovacím jazyce C#. Uživatelem jsou zadány hodnoty gainu VOR, zjištěné pomocí softwaru OTOsuite® Vestibular, pro všech šest polokruhovitých kanálků, následně je vygenerována slovní klasifikace pro daný kanálek. Prostředí slouží především pro usnadnění převodu dat gainu do podoby nově navrženého výstupního hodnocení a zajištění snadné orientace při prezentování výsledků.



Obrázek 28: Prostředí programu GainID

7.4.4 Měření vHIT

Bylo provedeno vyšetření jedenácti probandů, přičemž se jednalo o sedm žen a čtyři muže. V devíti případech byly u pacientů testovány všechny polokruhovité kanálky, ve dvou případech pouze kanálky v horizontální rovině (levý a pravý laterální kanálek).

7.4.5 Výsledky testování

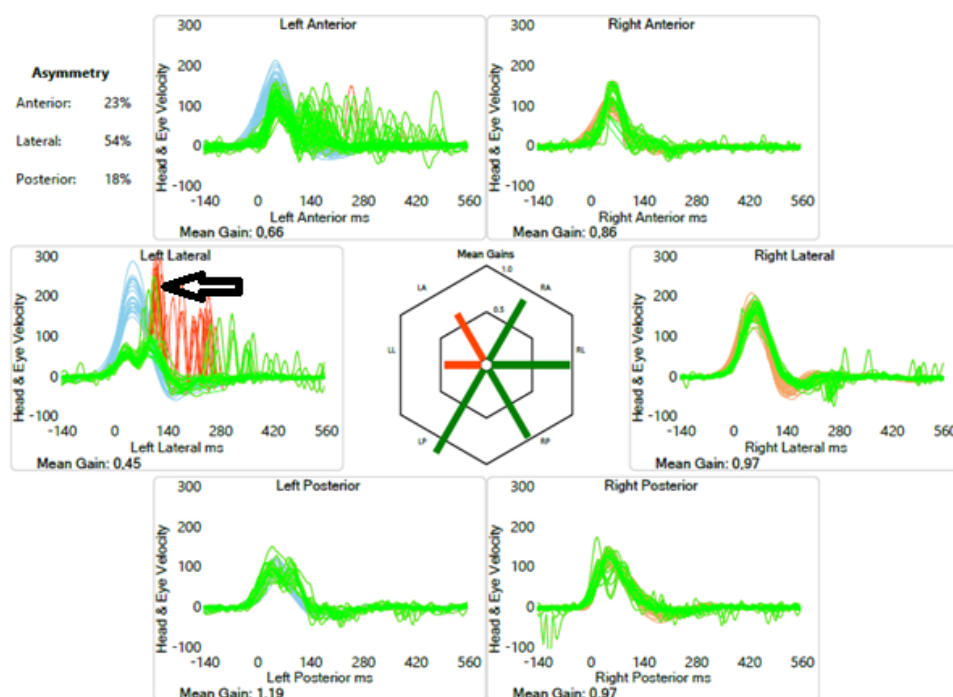
V tabulce č. 5 jsou uvedeny hodnoty gainu VOR u jedenácti pacientů. Barevné rozlišení naznačuje stav daného kanálku podle navrženého členění na segmenty.

Tabulka 5: Gain VOR u testovaných pacientů

Pacient	Pohlaví	Polokruhovitě kanálky					
		LA	LL	LP	RA	RL	RP
Pacient 1	Žena	0.66	0.45	1.19	0.86	0.97	0.97
Pacient 2	Muž	1.21	0.96	1.13	1.08	0.75	1.21
Pacient 3	Žena	0.95	1.03	0.89	1.13	0.71	0.82
Pacient 4	Žena		1.06			1.12	
Pacient 5	Muž	1.01	1.14	1.03	0.91	1.30	1.10
Pacient 6	Žena	1.03	0.98	1.03	0.47	0.78	0.98
Pacient 7	Muž	0.60	1.02	1.06	0.72	1.09	0.82
Pacient 8	Žena		0.96			0.97	
Pacient 9	Žena	0.93	1.57	1.39	1.00	1.42	1.27
Pacient 10	Žena	1.07	0.82	0.89	0.53	0.28	0.79
Pacient 11	Muž	0.73	0.98	1.11	0.90	1.01	0.53

Výsledky vHIT testu u pacientky 1 naznačují přítomnost levé horní vestibulární neuritidy, což lze usuzovat díky znalosti inervační struktury vestibulárního aparátu. K potvrzení tohoto předpokladu je však ještě nutné provést měření vestibulárních evokovaných myogenních potenciálů (VEMP). Podobnou diagnózu lze stanovit u pacientky 6, s tím rozdílem, že se jedná o pravou horní vestibulární neuritidu, opět s požadavkem ověření pomocí VEMP. U obou pacientek má navíc jeden z kanálků velmi těžkou dysfunkci. Nejhorší výsledek vykazuje pacientka 10, jejíž pravý laterální polokruhovitý kanálek dosahuje hodnoty blízké se čtvrtině ideálního poměru rychlosti očí a hlavy. Šedá pole značící výskyt artefaktů jsou evidentní u pacientky 9, konkrétně pro oba přední i oba laterální kanálky. Dá se předpokládat, že během vyšetření této osoby nebyly brýle pevně uchyceny na hlavě pacienta a během rotace hlavy docházelo k pohybům brýlí na tváři. Z celkového počtu jedenácti testovaných osob byly negativní výsledky testu stanoveny u tří pacientů, konkrétně u pacientů 4, 5 a 8. U dvou z nich však byly testovány pouze laterální kanálky [45].

Při podrobnějším pohledu na výsledky testu pacientky 1 je možno u levého laterálního kanálku pozorovat přítomnost nejen zjevných, ale i skrytých sakád (sakády jsou naznačeny oranžovou barvou). Šipka na obr. 28 znázorňuje úsek výskytu skrytých sakád, přibližně v časovém intervalu 100–140 ms. Sakády, vyskytující se po zmíněném intervalu, jsou označovány jako zjevné (viz kapitola 7.3). V hexagramu pacientky 1 je oranžovou barvou vykreslen sloupec levého předního a levého laterálního polokruhovitě kanálku. Znamená to, že průměrné hodnoty gainu VOR dosahují hodnot menších, než je normativní interval 0.8–1.2 u laterálních impulsů, respektive 0.7–1.2 při vyšetření v LARP/RALP rovině, a je tak naznačena dysfunkce těchto dvou kanálků.



Obrázek 29: Výsledky testování pacientky 1, vyhodnocené pomocí OTOsuite® Vestibular

Do zhotoveného softwaru GainID byly vloženy průměrné hodnoty gainu VOR pro příslušné polokruhové kanálky. Vyhodnocení je zřejmé na obr. 29.

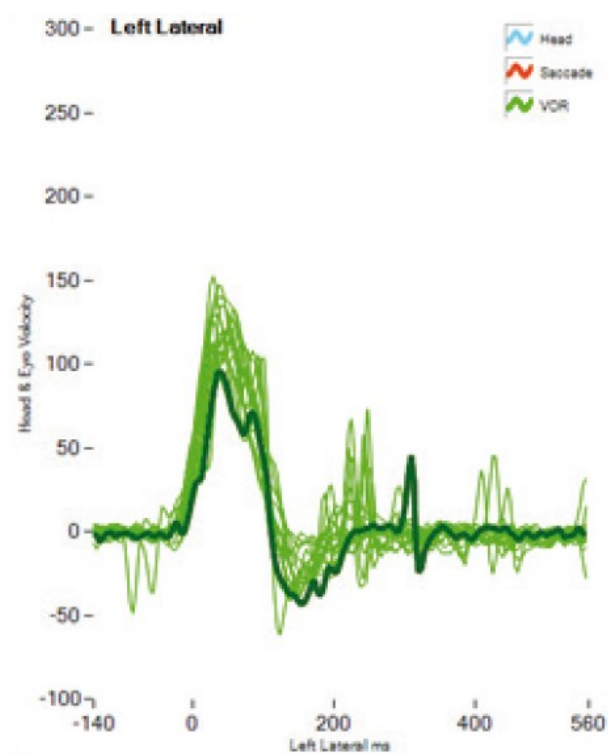
<u>Horizontální kanálky</u> Gain			
Levý laterální kanálek (LL)	0,45	vyhodnocení:	velmi těžká dysfunkce polokruhovitěho kanálku
Pravý laterální kanálek (RL)	0,97	vyhodnocení:	správně fungující polokruhovitý kanálek
<u>Vertikální kanálky</u>			
Pravý přední kanálek (RA)	0,86	vyhodnocení:	správně fungující polokruhovitý kanálek
Levý zadní kanálek (LP)	1,19	vyhodnocení:	správně fungující polokruhovitý kanálek
Levý přední kanálek (LA)	0,66	vyhodnocení:	lehká dysfunkce polokruhovitěho kanálku
Pravý zadní kanálek (RP)	0,97	vyhodnocení:	správně fungující polokruhovitý kanálek

Obrázek 30: Vyhodnocení výsledků první pacientky programem GainID

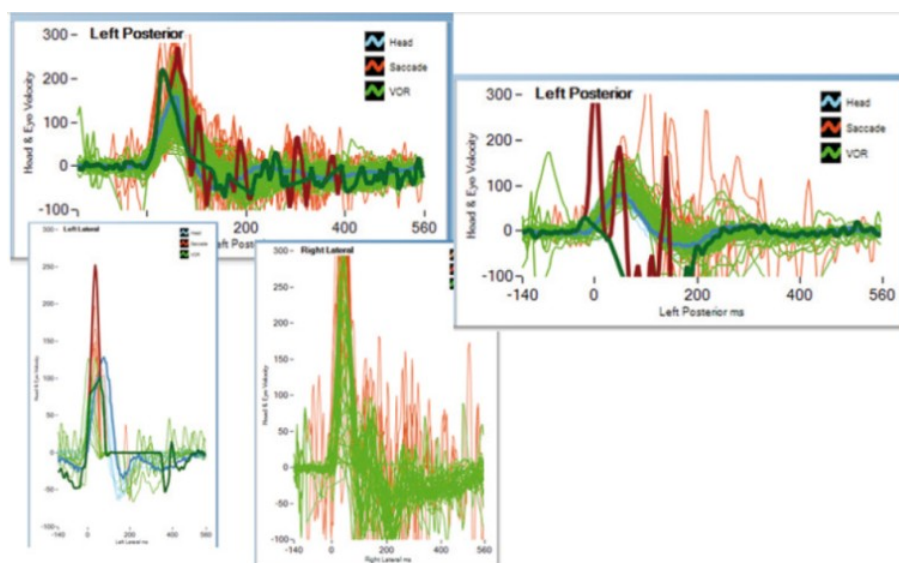
7.5 Nejčastější artefakty

7.5.1 Chybná detekce zorničky

Správná detekce zorničky je základním předpokladem pro kvalitu výstupních dat. Jako častý případ lze označit nedostatečně otevřené oči pacienta, zamezující softwaru detekci pole zorničky. Vzniku tohoto artefaktu je možné předcházet důslednou kontrolou, která zahrnuje očištění zrcátka a čočky kamery. Na zrcátko by neměly dopadat žádné odrazy světla, tomu je nutné přizpůsobit světelné poměry v místnosti. V softwaru je potřeba ověřit lokalizaci zorničky v ROI boxu. Pokud se zornička dotýká okraje ROI boxu, projeví se velkou amplitudou prováděných impulsů hlavy (nad 250 °/s), viz obr. 32. V případě, že je zornička mimo ROI box, zobrazí se na grafu Real Time Trace trasa očí jako rovná čára [34].



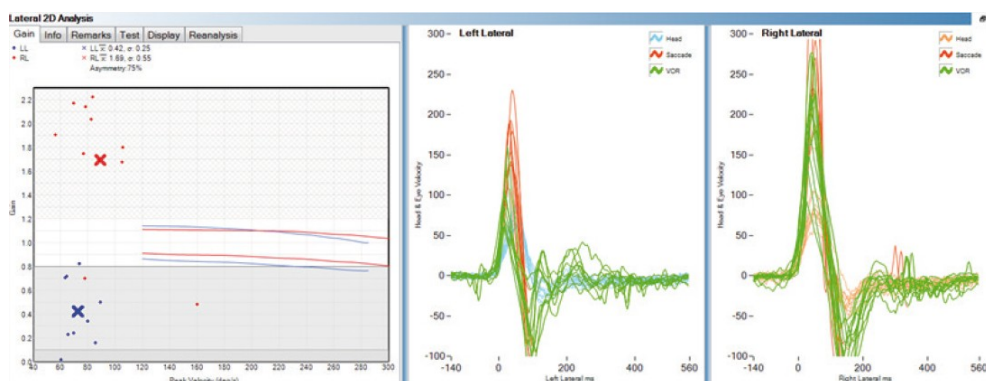
Obrázek 31: Správná detekce zorničky [7]



Obrázek 32: Špatná detekce zorničky [7]

7.5.2 Abnormální hodnoty gainu VOR

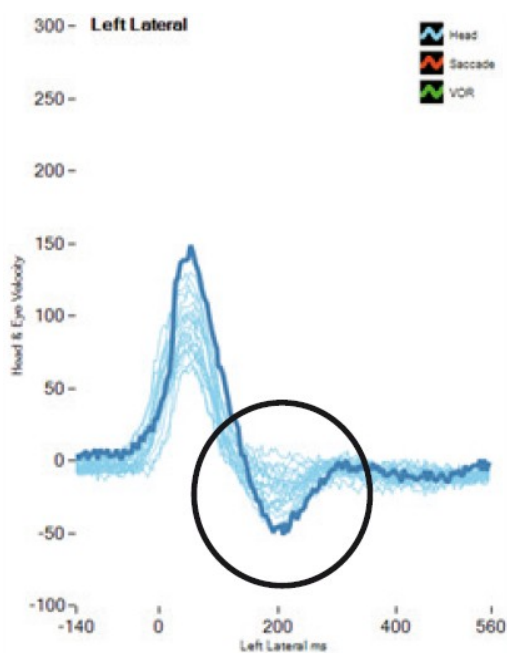
V případě vysokých hodnot gainu VOR, jak naznačuje graf nárůstu pravého laterálního polokruhovitěho kanálku na obr. 33, se pravděpodobně jedná o špatně sedící brýle. Odstranit tento problém lze použitím nové vycpávky brýlí a utáhnutím popruhu. Je nutné se vyvarovat dotekům všech částí brýlí na hlavě pacienta. Správné uchopení hlavy během testování je zobrazeno na obr. 12, popřípadě také na titulním obrázku této práce, jenž je převzat z následujícího zdroje: [31]. Vhodné je také připnout kabel na pravé pacientovo rameno. Dalšími důvody mohou být chybně provedená kalibrace či nedodržení vzdálenosti fixního bodu od pacienta [34].



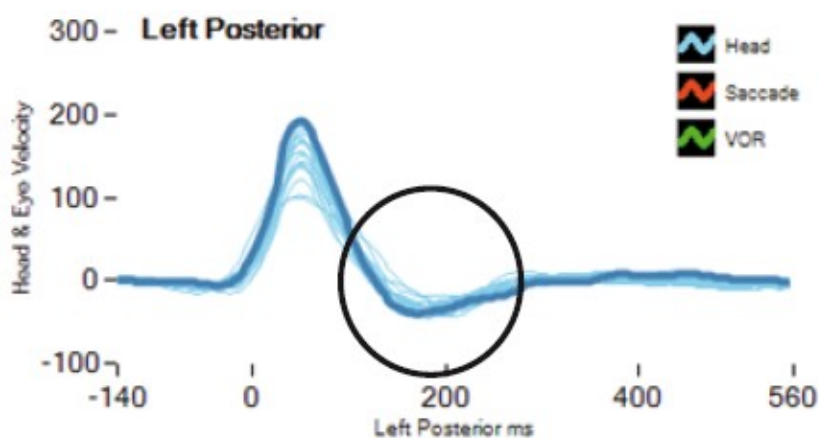
Obrázek 33: Abnormální hodnoty gainu VOR [34]

7.5.3 Překmit

Jako tzv. překmit je označován artefakt, vznikající při současně stimulované pravé i levé strany, kdy je impuls hlavy prováděn jedním směrem (např. vlevo) a okamžitým pohybem hlavy směrem opačným (např. vpravo). V tomto případě nedojde k izolované stimulaci daného polokruhovitěho kanálku (viz obr. 34). Vyšetřující musí dbát na chvilkové setrvání ve střední poloze, čelem k fixnímu bodu, aby systém mohl oddělit jednotlivé impulsy hlavy. V případě, že se tak nestane, je softwarem upozorněn. Ukázka správně provedeného impulsu hlavy je na obr. 35. Tento artefakt také může způsobovat výskyt korekčních sakád na záporné straně grafu (viz kapitola 7.3.2) [34].



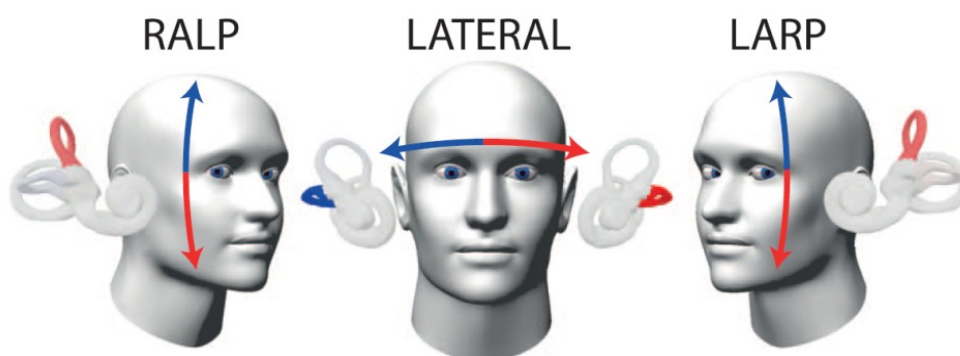
Obrázek 34: Překmit [34]



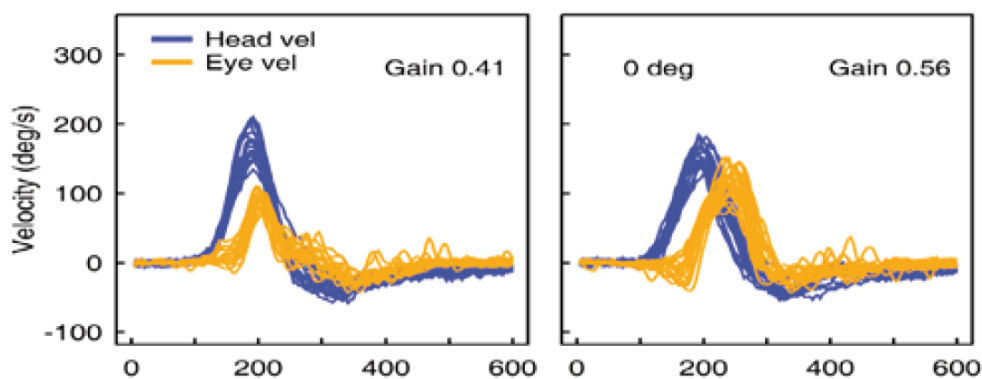
Obrázek 35: Správně provedený impuls hlavy [34]

7.5.4 Chybně stimulované roviny polokruhovitých kanálků

K výskytu tohoto artefaktu může dojít při chybné stimulaci polokruhovitých kanálků v LARP/RALP rovině. Základním předpokladem správné diagnostiky je hlava otočená pod úhlem 35–45 ° a impulsy hlavy přesně v rovině vertikálních polokruhovitých kanálků (viz obr. 36). Častou chybou vyšetřujícího je provedení impulsu hlavy tzv. směrem k nosu, což podobně jako u artefaktu v kapitole 7.5.3 vyvolá stimulaci obou kanálků současně. Každá ze stran musí být testována odděleně. Na grafu lze zmíněný artefakt rozpoznat jako oční stopu posunutou na pravou stranu od stopy hlavy (viz obr. 37) [34].



Obrázek 36: Stimulace v laterální a LARP/RALP rovině [35]



Obrázek 37: Špatně provedený impuls hlavy [34]

8 Závěr

Jedním z cílů praktické části bakalářské práce byla analýza dat realizovaného měření jedenácti probandů metodou video Head Impulse Test. Hodnotícím parametrem testu je tzv. gain VOR, podíl oční rychlosti vzhledem k rychlosti hlavy při rotacích vyvolaných vyšetřující osobou ve třech různých rovinách polokruhovitých kanálků. Dle této hodnoty následně lékař posuzuje funkci všech šesti kanálků. Řídí se pomocí normativního intervalu, jenž zahrnuje oblast hodnot gainu, charakterizující správnou funkci daného kanálku. Naopak dysfunkci kanálku značí všechny nižší hodnoty gainu, nespádající do uvedeného intervalu.

Dvouletá zkušenost personálu Centra pro poruchy sluchu a rovnováhy s měřením pomocí přístroje ICS Impulse® v každodenní klinické praxi ukázala, že hodnocení testu na strohou pozitivní a negativní diagnózu je z hlediska povahy vyšetření nedostatečně specifikující. Z tohoto důvodu jsem se zaměřil na zpřesnění výstupního hodnocení polokruhovitých kanálků. Při stanovení příslušných klasifikačních intervalů jsem zohlednil dostupné informace, vycházející jak z nastaveného hodnotícího algoritmu softwaru OTOsuite® Vestibular, tak i z velkého množství dat pacientů, kteří měření video Head Impulse Test podstoupili. V tomto případě se jedná především o pozorování tendencí výskytu dané oblasti hodnot. Ověření kompletního návrhu přepracované analýzy dat v praxi jsem provedl na již zmíněném měření metodou video Head Impulse Test u vzorku pacientů. Měření probíhalo pomocí přístroje ICS Impulse® a vyhodnocení softwarem OTOsuite® Vestibular. Získaná data jsem následně vyhodnotil s využitím aplikace GainID, kterou jsem naprogramoval za účelem usnadnění generování hodnocení kanálků a vyvarování se chyb při přiřazování výsledných hodnot k příslušným klasifikačním intervalům. Řešení, které jsem navrhl, umožňuje lékaři přehlednější a detailnější posouzení funkčního stavu jednotlivých polokruhovitých kanálků. Lékař tak získá potřebné podklady pro přesnější a podrobnější stanovení diagnózy a efektivněji nastavenou rehabilitaci. Dalším přínosem je upozornění na výskyt artefaktů, jež znehodnocují datový výstup realizovaného měření.

Tuto práci jsem se rozhodl pojmout jako pilotní projekt klasifikační části návrhu řešení pro zamýšlený expertní systém v dalším studiu. Systém by měl pracovat s velkým objemem dat pacientů a umožnit analýzu podle jednotlivých kritérií. Jelikož navrhovaná klasifikace polokruhovitých kanálků v podobě programu GainID není propojena s algoritmem softwaru OTOsuite® Vestibular, a v současné chvíli slouží pouze pro účely této práce, nabízí se z hlediska dalšího rozvoje zařazení automatizovaného hodnocení do celkového datového výstupu testu.

Dalším cílem praktické části bylo, jak již napovídá název celé bakalářské práce, vypracovat laboratorní úlohu, která má sloužit jako průvodce vyšetřením studentům zdravotnických oborů. Vzhledem k připraveným úkolům je laboratorní úloha zhotovena tak, aby studentům v rámci omezeného časového prostoru umožnila pochopit princip a význam metody video Head Impulse Test. K tomu by jim měla napomoci také mnou navržená analýza dat, kterou jsem zařadil do laboratorní úlohy.

9 Reference

- [1] MARIEB, Elaine Nicpon a Jon MALLATT. *Anatomie lidského těla*. Vyd. 1. Brno: CP Books, 2005, xvi, 863 s. ISBN 8025100669.
- [2] ČIHÁK, Radomír. *Anatomie 3*. 2 vyd. Praha: Grada Publishing, 2002, 655 s. ISBN 80-716-9140-2.
- [3] SMYSLY - čich, sluch, zrak. *Oktáva A* [online]. 2011 [cit. 2015-09-19].
- [4] KITTNAR, Otomar. *Lékařská fyziologie*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011, 790 s. ISBN 978-80-247-3068-4.
- [5] SILBERNAGL, Stefan a Agamemnon DESPOPOULOS. *Atlas fyziologie člověka*. Vyd. 2. Překlad Jan Mareš, Eliana Trávníčková. Praha: Grada, Avicenum, 1993, 352 s. ISBN 808562379x.
- [6] MOUREK, Jindřich. *Fyziologie: učebnice pro studenty zdravotnických oborů*. Vyd. 1. Praha: Grada, 2005, 204 s. ISBN 80-247-1190-7.
- [7] Biologie člověka. *Škola Ječná* [online]. 2006 [cit. 2015-09-21].
- [8] Vestibulo-ocular reflex (VOR): Nervous system. *Encyclopedia Britannica* [online]. 2013 [cit. 2015-09-23].
- [9] EOG - Vestibulo-Ocular Reflex. *The McGill Physiology Virtual Laboratory* [online]. [cit. 2015-09-23].
- [10] ŠIKL, Radovan. *Zrakové vnímání*. 1. vyd. Praha: Grada, 2012, 312 s. Psyché (Grada). ISBN 978-80-247-3029-5.
- [11] Otázky z ORL. *Studijní materiály* [online]. [cit. 2016-02-15].
- [12] TROJAN, Stanislav. *Lékařská fyziologie*. Vyd. 4., přeprac. a dopl. Praha: Grada, 2003, 771 s. ISBN 80-247-0512-5.
- [13] HAHN, Aleš. *Otorinolaryngologie a foniatrie v současné praxi*. 1. vyd. Praha: Grada, 2007, 390 s. ISBN 978-80-247-0529-3.
- [14] MRÁZKOVÁ, Eva, Jana VYSKOTOVÁ a Kateřina MACHÁČKOVÁ. Závratě - diagnostika a rehabilitace. *Jesenius* [online]. : 1-32 [cit. 2015-09-23].
- [15] The Basics. *Nystagmus.co.uk: The facts and personal experiences combined* [online]. [cit. 2015-09-23].
- [16] OREL, Miroslav a Věra FACOVÁ. *Člověk, jeho smysly a svět*. Vyd. 1. Praha: Grada, 2010, 248 s. Psyché (Grada). ISBN 978-80-247-2946-6.

- [17] HEHLMANN, Annemarie. *Hlavní symptomy v medicíně: praktická příručka pro lékaře a studenty*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010, xiv, 450 s. ISBN 978-80-247-2612-0.
- [18] HAHN, Aleš. *Otoneurologie: diagnostika a léčba závratí*. Vyd. 1. Praha: Grada, 2004, 119 s., [8] s. obr. příl. ISBN 80-247-0510-9.
- [19] KALVACH, Zdeněk. *Geriatrické syndromy a geriatrický pacient*. Vyd. 1. Praha: Grada, 2008, 336 s. ISBN 978-80-247-2490-4.
- [20] FULLER, Geraint. *Neurologické vyšetření snadno a rychle*. 1. české vyd. Praha: Grada, 2008, 253 s. ISBN 978-80-247-1914-6.
- [21] NOVOTNÝ, Miroslav a Rom KOSTŘICA. Vertigo. *Medicina pro praxi* [online]. 2007, 4(10): 483-486 [cit. 2015-09-23]. ISSN 1803-5310.
- [22] SLEZÁKOVÁ, Zuzana. *Ošetrovatelství v neurologii*. 1. vyd. Praha: Grada, 2014, 232 s. Sestra (Grada). ISBN 978-80-247-4868-9.
- [23] LUKÁŠ, Karel a Aleš ŽÁK. *Chorobné znaky a příznaky: diferenciální diagnostika*. 1. vyd. Praha: Grada, 2014, xxii, 890 s. ISBN 978-80-247-5067-5.
- [24] KALVACH, Zdeněk. *Geriatric a gerontologie*. Vyd. 1. Praha: Grada, 2004, 861 s. ISBN 80-247-0548-6.
- [25] JEŘÁBEK, Jaroslav. Diferenciální diagnostika závratí. *Interní medicína pro praxi* [online]. 2003, (2): 86-91 [cit. 2015-09-19]. ISSN 1803-5256.
- [26] JEŘÁBEK, Jaroslav. Diagnostika a terapie závrativých stavů. *Neurologie pro praxi* [online]. 2007, 8(4): 231-234 [cit. 2015-09-19]. ISSN 1803-5280.
- [27] ICS Impulse – Revolutionizing Vestibular Assessment. *Audiology Online: CEUs, Jobs and Journal for the Audiology Profession* [online]. 2013 [cit. 2016-02-21].
- [28] WALTHER, L.E., K. HÖRMANN, M. BLOCHING a A. BLÖDOW. Rezeptorfunktion der Bogengänge: Teil 1: Anatomie, Physiologie, Diagnostik und Normalbefunde. *HNO* [online]. 2012, 60(1): 75-88 [cit. 2015-12-21]. DOI: 10.1007/s00106-011-2434-5.
- [29] New Tests for Diagnosis of Peripheral Vestibular Disorders. *Illinois Academy of Audiology: The Voice of Audiology in Illinois* [online]. [cit. 2015-12-22].
- [30] Clinical application of a new objective test of semicircular canal dynamic function – the video head impulse test (vHIT). *Head Impulse Testing* [online]. [cit. 2015-12-22].
- [31] ICS Impulse: Noch nie da gewesene Genauigkeit und Effizienz in der Gleichgewichtsdiagnostik. *Otometrics* [online]. 2011 [cit. 2015-12-22].
- [32] vHIT Quick Guide. *ICS Impulse Video Head Impulse Testing* [online]. 2014 [cit. 2015-12-22].

- [33] ICS Impulse – Die 4-in-1 Option für Ihre vestibuläre Diagnostik. *Otometrics* [online]. [cit. 2015-12-22].
- [34] Interpretation Guide: A guide to reducing artifacts and collecting quality data. *ICS Impulse Video Head Impulse Testing* [online]. 2015 [cit. 2015-12-22].
- [35] MACDOUGALL, Hamish Gavin, Leigh Andrew MCGARVIE, Gabor Michael HALMAGYI, Ian Stewart CURTHOYS a Konrad Peter WEBER. The Video Head Impulse Test (vHIT) Detects Vertical Semicircular Canal Dysfunction. *PLoS One* [online]. 2013, **8**(4): 1-10 [cit. 2015-12-21]. DOI: 10.1371/journal.pone.0061488.
- [36] HEGEMANN, Stefan C.A. *Der Kopfpulstest (KIT) in der Praxis* [online]. HNO Kompakt, 2010, **18**(1) [cit. 2015-12-22].
- [37] *Videobasierter Kopfpulstest: Bedeutung für die Routinediagnostik von Schwindelerkrankungen* [online]. [cit. 2015-06-03]. DOI: 10.1007/s00115-013-3824-6.
- [38] Technical specifications. *ICS Impulse Video Head Impulse Testing* [online]. 2015 [cit. 2015-12-22].
- [39] WALTHER, Leif Erik, Renate DÜRL, Ralf HELBIG a Alexander BLÖDOW. Der Kopfpulstest: Per Video zu genaueren Ergebnissen. *HNO Nachrichten* [online]. HNO Nachrichten, 2012, **42**(1): 35-39 [cit. 2015-12-22].
- [40] ICS Impulse. *AudioNIKA: Služby pro sluchově postižené* [online]. [cit. 2015-12-22].
- [41] Contraindications and Challenges. *Head Impulse Testing* [online]. [cit. 2015-12-22].
- [42] KERBER, Kevin A. a Robert W. BALOH. *The evaluation of a patient with dizziness* [online]. 2011, **1**(1): 24-33 [cit. 2015-12-22]. DOI: 10.1212/CPJ.0b013e31823d07b6.
- [43] ICS Impulse USB: Návod na použití. *Otometrics* [online]. 2015 [cit. 2015-12-22].
- [44] ICS Impulse USB: Reference Manual. *Otometrics* [online]. 2015 [cit. 2015-12-21].
- [45] ICS Impulse – Revolutionizing Vestibular Assessment. *Audiology Online: CEUs, Jobs and Journal for the Audiology Profession* [online]. 2013 [cit. 2016-02-21].
- [46] Nystagmus Treatment - Vision Yoga. *Viram Agrawal's Vision Yoga* [online]. [cit. 2016-03-09].
- [47] KUCHYNKA, Pavel. *Oční lékařství*. 1.vyd. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1163-8.

Přílohy

Seznam příloh

Příloha č. 1: Příloha na CD

Příloha č. 2: Laboratorní úloha měření vHIT (6 stran)

Příloha č. 1: Příloha na CD

Příložené CD obsahuje software GainID, který je součástí realizované analýzy dat v této bakalářské práci.

Příloha č. 2: Laboratorní úloha měření vHIT

Cíl úlohy

- Pochopit princip metody vHIT.
- Naučit se pracovat s brýlemi ICS Impulse® USB a softwarem OTOsuite® Vestibular.
- Provést měření vHIT.
- Analyzovat výsledky testu.

Zadání

- Nastudujte teoretický rozbor a návod na použití přístroje ICS Impulse® USB.
- Proved'te nezbytné úkony pro zahájení testování (evidence pacienta, příprava, umístění a kalibrace brýlí ICS Impulse® USB, detekce zorničky systémem).
- Realizujte měření vHIT a analyzujte funkční stav jednotlivých polokruhovitých kanálků.

Předpokládané znalosti

- FRANEC, Daniel. *Laboratorní úloha měření vHIT*. Ostrava, 2016. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky. Vedoucí práce MUDr. Eva Mrázková, Ph.D.

Použité vybavení

- PC (software OTOsuite® Vestibular)
- Brýle ICS Impulse® USB
- Kabel USB

Teoretický rozbor

Rovnováha je komplexním dějem, který funguje na základě informací, získaných ze tří vstupů: zrakového, vestibulárního a somatosenzorického. Úkolem příslušných nervů je přenos signálů z těchto tří vstupů do center pro následné zpracování. Primárně jde o oblast vestibulárních jader mozkového kmene a mozečku. Tento systém má dvě základní funkce. Zaprvé, udržení stabilního obrazu na sítnici při pohybu, což je označováno jako tzv. dynamická zraková ostrost, druhou funkcí je regulace stoje a chůze. Polokruhovité kanálky, rozdělené do třech rovin, zaznamenávají úhlové zrychlení hlavy. Využívají změn membránového potenciálu receptorových buněk, závisejících na pohybu endolymfy uvnitř polokruhovitých kanálků při rotaci hlavy. Oční pohyb, který kompenzuje současný pohyb hlavy, je označován jako takzvaný vestibulookulární reflex (VOR). Závisí na propojení polokruhovitých kanálků, které vysílají signál s okohybným nervem. Tato součinnost probíhá se zpožděním očního pohybu přibližně 16 ms. Při rotaci hlavy do stran tak zůstává obraz oka neustále ostrý. Video Head Impulse Test (dále vHIT) je nová, objektivní metoda vyšetření rovnovážného aparátu, která umožňuje detekovat

sníženou funkci horizontálních a vertikálních polokruhovitých kanálků. Vyšetření vestibulookulárního reflexu (VOR) je prováděno pomocí odlehčených brýlí ICS Impulse[®], které mají zabudovanou vysokorychlostní kameru (250 Hz), snímající pohyb očí. Kamera sleduje tzv. korekční sakády, což jsou rychlé oční pohyby. Brýle dále obsahují gyroskopy a akcelerometry pro měření rychlosti, respektive směru pohybu hlavy. Systém následně porovnává rychlost očí a rychlost hlavy, tento podíl je označován jako tzv. gain VOR. Stav polokruhovitých kanálků je klasifikován právě prostřednictvím zmíněného gainu VOR. Software OTOSuite[®] Vestibular je členěn na správně či nedostatečně fungující. Kanálky bez snížené funkce odpovídají hodnotám 0.8–1.2 u laterálních impulsů, respektive 0.7–1.2 při vyšetření v LARP/RALP rovině. Polokruhovité kanálky s deficitem vykazují gain nižší než uvedený normativní interval. Podrobnější náhled na stav jednotlivých kanálků umožňuje klasifikace v tabulkách č. 1 a 2.

Tabulka 1: Rozdělení na segmenty pro horizontální kanálky

Gain VOR	Slovní klasifikace
> 1.21	brýle jsou pravděpodobně špatně nasazeny
1.20–0.90	správně fungující polokruhovitý kanálek
0.89–0.80	náznak lehké dysfunkce polokruhovitého kanálku
0.79–0.70	lehká dysfunkce polokruhovitého kanálku
0.69–0.60	středně těžká dysfunkce polokruhovitého kanálku
0.59–0.50	těžká dysfunkce polokruhovitého kanálku
< 0.49	velmi těžká dysfunkce polokruhovitého kanálku

Tabulka 2: Rozdělení na segmenty pro vertikální kanálky

Gain VOR	Slovní klasifikace
> 1.21	brýle jsou pravděpodobně špatně nasazeny
1.20–0.85	správně fungující polokruhovitý kanálek
0.84–0.75	náznak lehké dysfunkce polokruhovitého kanálku
0.74–0.65	lehká dysfunkce polokruhovitého kanálku
0.64–0.55	středně těžká dysfunkce polokruhovitého kanálku
0.54–0.45	těžká dysfunkce polokruhovitého kanálku
< 0.44	velmi těžká dysfunkce polokruhovitého kanálku

Pracovní postup

Postup k bodu č. 1 zadání

Pro pokračování v dalších bodech zadání je nutné prostudovat teoretický rozbor k této úloze, návod na použití přístroje ICS Impulse[®] USB a bakalářskou práci: Laboratorní úloha měření vHIT.

Postup k bodu č. 2 zadání

Evidence pacienta

1. Na PC spusťte program OTOSuite® Vestibular.
2. Najděte ikonu New Patient a založte nového pacienta.

Příprava brýlí

- Zkontrolujte stav obličejové vycpávky v brýlích, případně ji vyměňte za novou.
- Vyčistěte zrcátka na brýlích pomocí čistícího hadříku.
- Umístěte židli pro pacienta tak, aby byl situován ve vzdálenosti přibližně jednoho metru čelem ke stěně, kde je nalepen fixní bod.

Umístění brýlí na pacientovi

1. Nasad'te brýle na kořen nosu.
2. Umístěte popruh pro přichycení brýlí nad ušima kolem zadní části hlavy.
3. Utáhněte popruh dostatečně těsně, aby nedošlo ke sklouznutí brýlí v průběhu testu.
4. Umožněte flexibilitu přívodních kabelů během testu, připnutím svorky s kabelem na pacientovo oblečení v oblasti vrchní části pravého ramene.
5. Oči musí být dostatečně otevřené k zajištění detekce zorničky, nesmí být překryté očními víčky.

Nastavení testu

- Zvolte test v laterální rovině polokruhovitých kanálků.
- V případě pacienta se spontánním nystagmem nebo nystagmem vyvolaným upřeným pohledem označte políčko Spontaneous Nystagmus. Zabrání se tak odmítání platných impulsů softwarem.

Příprava k testování polokruhovitých kanálků v laterální rovině

Detekce zorničky

1. Upravte oblast zájmu (ROI - region of interest) okolo zornice za použití myši kliknutím na zelený rámeček a tažením ho vycentrujte na zornici nebo klikněte na zornici pro vycentrování zornice uvnitř zeleného rámečku.
2. V okně Video je na výběr obraz ve stupních šedi Grayscale Image nebo poloha zornice Pupil Location.
3. Pokud zornice nebyla detekována automaticky, použijte funkci automatické prahové hodnoty Auto Threshold, systém vycentruje zaměřovač na zornici.
4. Informujte pacienta, aby upřeně sledoval stacionární bod na stěně.
5. Pokud zaměřovač nenásleduje pohyb zorničky (přeskakuje kolem a není stabilně na zornici) upravte sledování posuvníkem prahových hodnot.
6. Při spokojenosti s pozicí ROI zvolte možnost OK.

7. Zapněte oba lasery volbou Lasers On.
8. Požádejte pacienta, aby umístil oba lasery ve stejné vzdálenosti od vyznačeného bodu na stěně, terčík tak musí být uprostřed obou laserů.
9. Vyzvěte pacienta, aby sledoval pouze levou tečku a následně pravou tečku promítanou laserem, aniž by pohnul hlavou.
10. Ve video okně kontrolujte, zda zaměřovač následuje pohyb zorničky.

Upozornění: Vyvarujte se přímému pohledu do laseru!

K monitorování pacienta slouží okno Real Time Trace. Díky pozorování trasy pohybu hlavy (oranžová) a očního pohybu (zelená) máte možnost rozpoznat, zda pacient pohybuje hlavou nebo očima (místo sledování fixačního bodu), nadměrně mrká nebo nenásleduje vaše instrukce (nespolupracuje).

11. Pokud zaměřovač nenásleduje pohyb zorničky (přeskakuje kolem a není stabilně ve středu zorničky), je třeba upravit sledování posuvníkem prahových hodnot.
12. V případě, že je detekce zorničky nastavena, může začít kalibrace.

Kalibrace

Pokud pacient nemůže být z nějakého důvodu kalibrován, použijte tlačítko default, které umožňuje použití přednastavených kalibračních hodnot.

1. Požádejte pacienta, aby sledoval přepínající se body laseru na stěně, software zobrazuje pohyby oka.
2. Vyberte volbu Run.
3. Vyzvěte pacienta, aby byl v přímé poloze vůči stacionárnímu bodu a držel stávající polohu hlavy.
4. Vyzvěte pacienta, aby sledoval terčík tvořený laserem. Kalibrační hodnoty jsou automaticky uloženy.

Kontrola kalibrace

1. Vyzvěte pacienta, aby sledoval fixační bod a pohyboval hlavou ze strany na stranu v rozsahu asi 10 °.
2. Zkontrolujte překrytí stopy očí a hlavy.
3. Pokud není stopa očí a hlavy vzájemně překryta (neshoduje se), proveďte opětovnou kalibraci.
4. Po úspěšné kontrole kalibrace potvrďte volbou Accept.
5. Collection window je otevřeno, můžete zahájit testování laterálních polokruhovitých kanálků

Nastavení testu

- Zvolte test v LARP/RALP rovině polokruhovitých kanálků.
- V případě pacienta se spontánním nystagmem nebo nystagmem vyvolaným upřeným pohledem označte políčko Spontaneous Nystagmus. Zabrání se tak odmítání platných impulsů softwarem.

Příprava k testování polokruhovitých kanálků v LARP/RALP rovině

Pro zahájení testování v LARP/RALP rovině není nutné provádět další kalibraci. Nesmí však dojít ke změně polohy brýlí na obličeji pacienta. V opačném případě je nutná opětovná kalibrace.

1. Pacientova hlava musí být stabilně ve střední poloze. Po splnění této podmínky vyberte možnost Center.
2. Uchopte hlavu pacienta a za současné kontroly na pravé straně obrazovky (je zde barevně znázorněn úhel) ji otáčejte, dokud se nezobrazí zeleně (úhel 45 °).

Detekce zorničky

1. Upravte oblast zájmu (ROI – region of interest) okolo zornice za použití myši kliknutím na zelený rámeček a tažením ho vycentrujte na zornici nebo klikněte na zornici pro vycentrování zornice uvnitř zeleného rámečku.
2. Upozorněte pacienta, aby upřeně sledoval stacionární bod na stěně.
3. Pokud zaměřovač nenásleduje pohyb zorničky (přeskakuje kolem a není stabilně na zornici) upravte sledování posuvníkem prahových hodnot.
4. V případě spokojenosti s pozicí ROI zvolte možnost OK.

Postup k bodu č. 3 zadání

Vyšetření funkce horizontálních polokruhovitých kanálků

1. V záložce Collection nastavte počet impulsů na levou, respektive pravou stranu, které budete provádět na hodnotu 20.
2. Postavte se za vyšetřovanou osobu, rukama uchopte pacientovu hlavu v temenní oblasti tak, aby byly ruce dostatečně vzdáleny od brýlí a popruhu. Pacient má za úkol upřeně sledovat pevně fixovaný bod.
3. Požádejte pacienta, aby sklonil hlavu o přibližně 30 ° směrem dolů.
4. Provádějte prudké (120–250 °/s) a pro pacienta nepředvídatelné otáčení hlavou v rovinách obou horizontálních polokruhovitých kanálků s úhlovým rozsahem 10–20 °.
5. Uskutečňte předem nastavený počet impulsů. Software v reálném čase třídí a zobrazuje správně a špatně provedené impulsy.
6. Během samotného testování sledujte okno Real Time Trace, kde se v reálném čase vykresluje trasa hlavy a oka. Umožní vám lepší představu o prováděných impulsech.

Vyšetření funkce vertikálních polokruhovitých kanálků

1. V záložce Collection nastavte počet impulsů na obě strany, které budete provádět na hodnotu 20.
2. Postavte se za vyšetřovanou osobu, rukama uchopte pacientovu hlavu v temenní oblasti tak, aby byly ruce dostatečně vzdáleny od brýlí a popruhu. Pacient má za úkol upřeně sledovat pevně fixovaný bod.
3. Otočte pacientovu hlavu o 45° na levou, respektive pravou stranu pomocí nápovědy generované softwarem, který graficky znázorní požadovaný úhel.
4. Prudkými ($100\text{--}250^\circ/\text{s}$) a pro pacienta nepředvídatelnými pohyby nahoru a dolů provádějte stimulaci v rovině vertikálních polokruhovitých kanálků (LARP/RALP).
5. Pokračujte vyšetřením druhé, netestované strany (pokud jste testování začali otočením na levou stranou, opakujte postup pro pravou stranu).
6. Uskutečňte předem nastavený počet impulsů. Software v reálném čase třídí a zobrazuje správně a špatně provedené impulsy.
7. Během samotného testování sledujte okno Real Time Trace, kde se v reálném čase vykresluje trasa hlavy a oka. Umožní vám lepší představu o prováděných impulsech.

Analýza výsledků

1. Zobrazte výsledky testu a okomentujte jednotlivé části 2D a 3D analýzy.
2. Pomocí hexagramu, kde jsou znázorněny průměrné hodnoty gainu VOR, slovně zhodnoťte funkční stav jednotlivých polokruhovitých kanálků. Postupujte podle klasifikačních tabulek z teoretického rozboru.
3. Požádejte vyučujícího, aby v systému vyhledal pacienta s diagnostikovanou poruchou některého z polokruhovitých kanálků a pomocí 2D analýzy popište oblast výskytu zjevných a skrytých sakád. Opět zhodnoťte funkční stav kanálků dle klasifikačních tabulek z teoretického rozboru.